



(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : 93400792.3

(51) Int. Cl.⁵ : **G05D 1/06, G01S 13/94, G01C 21/00**

(22) Date de dépôt : 26.03.93

(30) Priorité : 07.04.92 FR 9204245

(43) Date de publication de la demande : 13.10.93 Bulletin 93/41

(84) Etats contractants désignés :
AT BE CH DE DK ES GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

(71) Demandeur : **DASSAULT ELECTRONIQUE**
55, quai Marcel Dassault
F-92214 Saint-Cloud (FR)

(72) Inventeur : **Chazelle, Xavier**
5, avenue de Flore
F-92210 Saint-Cloud (FR)
Inventeur : **Hunot, Anne-Marie**
87, rue La Fontaine
F-75016 Paris (FR)
Inventeur : **Lepere, Gérard**
69, rue Hémet
F-93300 Aubervilliers (FR)

(74) Mandataire : **Plaçais, Jean-Yves**
Cabinet Netter, 40, rue Vignon
F-75009 Paris (FR)

(54) Procédé et dispositif d'anti-collisions terrain pour aéronef.

(57) Une mémoire de masse (30) stocke une base de données (BDT) représentant au moins une partie substantielle du globe terrestre, selon un maillage à plusieurs niveaux, plus précis notamment au voisinage d'un aéroport. Sont reçues des indications d'état, représentant la position de l'aéronef, avec deux composantes horizontales (L,G) et l'altitude (Z), et les vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef, ainsi que des indications de commande (MZC) provenant du poste de commande. En fonction desdites composantes horizontales de la position de l'aéronef, des moyens (35) transfèrent en mémoire rapide (40) une carte locale temporaire, à partir de laquelle est définie une enveloppe en altitude du terrain, dans la zone où évolue l'aéronef. Des moyens de traitement anti-collision (4; 43, 46) permettent d'établir une alarme (51) si la relation entre un domaine de protection et l'enveloppe en altitude satisfait une première condition qui est définie au moins en partie par lesdites indications de commande.

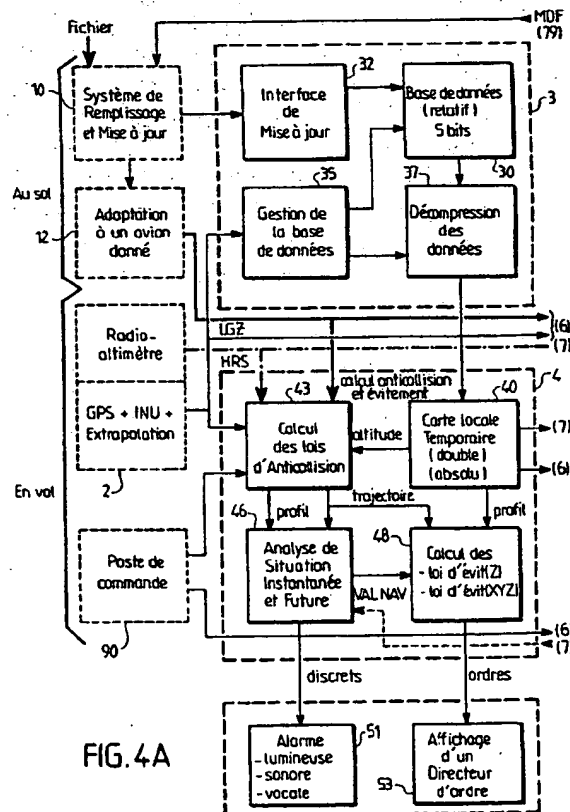


FIG. 4A

L'invention concerne le domaine général des aides à la navigation aérienne.

Ces aides comprennent notamment les moyens qui permettent à l'aéronef de connaître sa position, et ceux qui visent à établir son altitude par rapport au sol.

La plupart des aéronefs sont maintenant équipés d'une centrale inertielle, qui leur permet de suivre leur position depuis le décollage. La centrale inertielle fournit les composantes des vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef, ainsi que des angles associés. Il est possible d'en tirer des informations de position, mais avec une certaine dérive.

Les informations de position ainsi obtenues peuvent être rapprochées de celles que fournissent d'autres moyens de radionavigation. On utilise par exemple les mesures du système dit "Global Positioning System" ou GPS, avec un filtrage de Kalman. Ceci peut donner finalement des informations de position assez précises en latitude et longitude. La dérive est plus importante pour l'altitude.

Mesurer l'altitude de l'aéronef est en effet plus délicat. L'altitude par rapport au niveau de la mer est connue à l'aide de moyens de mesure dits "baro-inertiels"; mais ils sont tributaires d'un recalage périodique.

A côté de cela, un radio-altimètre donne la hauteur de l'aéronef par rapport au sol, ou "hauteur radio-sonde"; mais il s'agit d'une valeur locale instantanée: ses caractéristiques dépendent de l'assiette de l'aéronef, car celle-ci influe sur la manière dont le faisceau radio-sonde éclaire le sol. En outre, on ne sait pas en prédire l'évolution future.

Ces mesures sont suffisantes pendant la phase de croisière du vol, si du moins l'on est certain que l'aéronef évolue en haute altitude.

En tout état de cause, un problème se pose lors de l'approche préalable à l'atterrissage, ainsi qu'après le décollage: dans ces deux cas, l'aéronef est nécessairement près du sol, ce qui implique un risque aggravé d'une collision avec celui-ci.

Pour traiter ces difficultés particulières relatives à l'atterrissage et au décollage, il a été proposé de recourir à des systèmes d'avertissement de la proximité du sol ou "Ground Proximity Warning Systems", en abrégé GPWS (à ne pas confondre avec les systèmes de positionnement dits GPS).

Ces systèmes GPWS permettent certains progrès, mais ne sont pas entièrement satisfaisants.

La présente invention vient apporter une autre solution à ce problème, à partir d'une approche radicalement différente.

Le but général de l'invention est de permettre à l'aéronef d'éviter la collision avec le terrain survolé, en toute circonstance représentant un danger.

Plus précisément, l'invention vise à permettre d'assurer qu'à tout instant, l'aéronef n'est pas dans une situation immédiatement dangereuse par rapport au terrain. Elle vise également à vérifier que la trajectoire à court terme de l'aéronef ne le conduit pas à une situation dangereuse par rapport au terrain.

Un second but de l'invention est de fournir à cet effet un dispositif embarqué, insensible aux conditions météorologiques, susceptible de fonctionner en permanence, et indépendant, en fonctionnement, des systèmes d'informations, de contrôle et de sécurité implantés au sol.

Un troisième but de l'invention est de proposer au pilote une manoeuvre d'évitement, en cas de situation dangereuse, éventuellement d'automatiser une telle manoeuvre dans certains cas.

L'invention a aussi pour but de fournir au pilote une image synthétique du terrain en temps réel, à distance de visibilité.

L'invention a encore pour but d'améliorer l'ergonomie et la sécurité du pilotage d'un aéronef.

Un autre but important de l'invention est de permettre une mise à jour régulière ou recalage d'un fichier terrain, à partir des informations relevées par un ensemble d'aéronefs équipés selon l'invention.

Selon un premier aspect de l'invention, le dispositif proposé comporte une mémoire de masse apte à stocker une base de données représentant au moins une partie substantielle du globe terrestre, sous la forme d'un découpage comprenant un maillage sur au moins un niveau. Avantageusement, le maillage comprend des mailles de base, des mailles intermédiaires subdivisant certaines des mailles de base, et des mailles ultimes subdivisant à leur tour certaines des mailles intermédiaires. Ces mailles intermédiaires et ultimes sont prévues au moins au voisinage des zones aéroportuaires.

Chaque maille est associée à au moins une donnée représentant l'altitude maximale à l'intérieur de la maille. Il est prévu en outre un moyen de lecture à l'aide d'au moins un index permettant l'accès rapide à des jeux de mailles contiguës que contient ladite base de données, en fonction d'un adressage en coordonnées horizontales, comme la latitude et la longitude.

Le dispositif comprend aussi une entrée pour recevoir des indications d'état, exprimées par exemple en coordonnées géographiques, et comprenant notamment la latitude et la longitude, l'altitude, et les vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef, avec éventuellement les angles associés. En entrée, sont également reçues des indications de commande provenant du poste de pilotage.

Des moyens électroniques gèrent la base de données. En fonction desdites indications d'état, ils vont ex-

traire et transférer dans une mémoire rapide des informations constituant une carte locale temporaire (carte géographique). Cette carte définit une enveloppe en altitude du terrain, dans la zone où évolue l'aéronef.

Enfin, des moyens de traitement vont traiter lesdites informations d'état afin d'estimer une pluralité de points prédits de la trajectoire de l'aéronef; en chaque point, ils vont comparer le contour d'un domaine de protection autour de l'aéronef, à l'enveloppe d'altitude dans la partie correspondante de ladite carte locale; une alarme est établie si la relation entre le domaine de protection et l'enveloppe en altitude satisfait une condition choisie (loi d'anti-collision). De préférence, cette condition est définie au moins en partie à l'aide d'une marge de sécurité en altitude et/ou d'autres indications de commande provenant du poste de pilotage.

En particulier, la loi d'anti-collision exprime le fait que la distance verticale entre le domaine de protection et l'enveloppe en altitude demeure au moins égale à la marge de sécurité d'altitude, pour les points prédits de la trajectoire de l'aéronef. Des conditions plus élaborées peuvent être prévues.

Selon un autre aspect de l'invention, les moyens de traitement sont également agencés pour émettre une préalarme indiquant un danger de collision avec le sol à moyen terme, en fonction d'au moins une loi d'anti-collision de terrain, propre à l'aéronef. Cette loi peut tenir compte du fait que l'aéronef vole en ligne droite ou est en virage.

De préférence, les moyens de gestion de la base de données utilisent un changement de repère dans les zones entourant les pôles terrestres. Egalement, ils associent aux mailles une dimension dépendant de la latitude dans la direction des parallèles terrestres.

Très avantageusement, les mailles sont regroupées en blocs ou pavés, chaque bloc étant associé à une donnée d'altitude de référence exprimée en valeur absolue, tandis que l'altitude maximale dans chaque maille est exprimée en valeur relative, par rapport à une maille voisine, conformément à une loi prédéterminée de parcours des mailles à l'intérieur d'un bloc. De préférence, chaque bloc possède un recouvrement d'au moins une maille de base sur deux côtés adjacents avec ses voisins.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif comporte des moyens pour afficher une image synthétique du terrain, en fonction du contenu de la mémoire locale.

Il sera maintenant traité d'un aspect particulièrement avantageux de l'invention. En vol, le dispositif comporte des moyens pour comparer le terrain défini par la mémoire locale au terrain défini par les instruments de bord. Le résultat de cette comparaison peut être affiché et/ou servir à valider le fonctionnement du dispositif. De plus, des moyens sont prévus pour mémoriser des différences relevées lors de ladite comparaison. Après recoupements convenables, ces différences mémorisées vont servir à mettre à jour le fichier terrain de base, entretenu au sol.

L'invention peut également être présentée sous la forme d'un procédé d'aide à la navigation pour aéronef. Ce procédé est susceptible des mêmes variantes que le dispositif décrit plus haut.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe très général d'un dispositif selon l'invention;
- la figure 2 est un schéma de principe plus détaillé d'un dispositif selon l'invention;
- la figure 3 est un schéma de principe encore plus détaillé, mais partiel, d'un dispositif selon l'invention;
- les figures 4A et 4B sont deux autres schémas détaillés, qui, réunis (compte-tenu de leur recouvrement), définissent un dispositif selon l'invention;
- la figure 5 illustre la définition des mailles selon l'invention;
- la figure 6 est une vue en perspective montrant la relation entre deux mailles consécutives;
- la figure 7 montre un regroupement des mailles en pavés;
- les figures 8 et 9 montrent un recouvrement des pavés;
- les figures 10a, 10b et 10c montrent différents modes de calcul d'une altitude absolue à partir d'informations mise en mémoire pour les pavés;
- les figures 11 et 12 illustrent le principe d'un mode de vérification de l'altitude mise en mémoire;
- la figure 13 illustre un domaine d'incertitude;
- la figure 14 illustre l'incertitude liée à la trajectoire d'aéronef;
- les figures 15A et 15B illustrent respectivement une trajectoire prédite et un profil d'altitude assorti d'une marge, qui lui correspond;
- la figure 16 schématise l'évolution de la position d'un aéronef par rapport à une carte contenue dans une mémoire locale;
- les figures 17a et 17b illustrent la détermination de la relation entre la position de l'aéronef et le contenu de la mémoire locale;
- la figure 18 illustre un exemple de courbe de protection anti-collision;
- les figures 19 et 20 sont des vues en coupe verticale illustrant différentes situations d'un aéronef vis-à-vis d'un obstacle;

- la figure 21 est un exemple de trajectoire d'évitement;
- les figures 22a et 22b illustrent deux courbes de terrain;
- les figures 23a et 23b illustrent deux signaux d'écart relatifs aux courbes de terrain des figures 22a et 22b;
- la figure 24 illustre un mécanisme d'analyse de ces signaux d'écart.

Les dessins annexés sont pour l'essentiel de caractère certain, et font donc partie intégrante de la présente description. Ils pourront non seulement servir à mieux faire comprendre celle-ci, mais aussi contribuer à la définition de l'invention, le cas échéant.

D'une façon générale, dans la présente description, l'expression "poste de commande" (ou "de pilotage") se réfère aux fonctions nécessaires pour le pilotage, que celles-ci soient effectuées manuellement ou de manière automatique. Par fonctions nécessaires au pilotage, on entend notamment les fonctions de pilotage proprement dites, et les fonctions de navigation. Sur un autre plan, on pourra distinguer les fonctions elles-mêmes, et leur interface homme/machine.

Il est fait référence aux figures 1 à 4B. Le dispositif selon l'invention est essentiellement destiné à être installé à bord d'un aéronef. Celui-ci comporte des équipements 2 capables de fournir sous forme de signaux électriques des indications de paramètres du vol, à savoir (figure 3):

- une centrale inertielle 20 ou INU (matériel "certifié"),
- un instrument de radionavigation du genre GPS, noté 21, avec son antenne (matériel "non certifié"),
- un radio-altimètre 22, avec son antenne.

La centrale inertielle 20 fournit les composantes des vecteurs vitesse (V) et accélération (GAMMA) de l'aéronef. On peut en déduire les angles caractéristiques associés: incidence, dérapage, pente, tangage, cap, gîte, notamment. Cependant, dans la mesure où la centrale inertielle mesure et/ou utilise certains de ces angles pour déterminer les vecteurs vitesse et accélération, il est préférable de recueillir directement les valeurs de la centrale inertielle pour lesdits angles, là où l'on s'en sert pour la mise en oeuvre de l'invention. Ces valeurs angulaires peuvent être affichées et/ou utilisées au niveau du poste de commande.

Pour l'altitude, la centrale inertielle coopère avec un altimètre barométrique (non représenté), de manière connue.

On définira les notations ci-après :

- Zb est l'altitude barométrique donnée par la mesure de la pression atmosphérique, et varie selon l'altitude et les conditions météorologiques,
- Zi est l'altitude inertielle calculée par la double intégration de l'accélération verticale mesurée par les accéléromètres de la centrale à inertie (variations à long terme),
- Zbi est l'altitude baro-inertielle, c'est-à-dire Zb filtré par Zi (boucle du 3ème ordre, par exemple),
- Zc sera l'altitude calculée ($HRS + Zta$), où HRS est la hauteur radio-sonde donnée par le ou les radio-
altimètres de l'aéronef (précision de quelques mètres), et Zta sera l'altitude du terrain sous l'avion donnée par le fichier terrain (défini plus loin)
- Zgps est l'altitude fournie par le GPS.

La plupart du temps, les aéronefs sont équipés d'une batterie de centrales inertielles, et d'une logique de décision tenant compte de l'ensemble des indications de ces centrales. Pour la mise en oeuvre de l'invention, la Demanderesse estime actuellement préférable de prendre les informations d'une seule des centrales (dans la mesure où elles sont confirmées).

L'instrument de radionavigation 21 fournit des mesures brutes de latitude L1, longitude G1, et altitude Z1 (=Zgps), rafraîchies à une cadence p1 de quelques secondes à quelques minutes. Par intégration sur les vecteurs vitesse et accélération, la centrale inertielle 20 fournit d'autres mesures de latitude L0, longitude G0, et altitude Z0 (=Zbi), moins précises mais issues d'un matériel "certifié". Un bloc 25 compare les deux types de mesure, et valide les grandeurs L1, G1, Z1, si elles sont cohérentes avec L0, G0, Z0. De telles techniques de validation sont connues. Les mesures L2, G2, Z2 validées sont disponibles à la cadence p1. Mais elles sont affinées à partir de la centrale inertielle à une cadence p2 d'environ une seconde.

Un bloc 28 extrapole les informations entre le dernier instant de mesure par l'instrument 21 et l'instant actuel (cette extrapolation est utile notamment en cas de problème de cadence de fourniture des informations qui peut être trop faible).

Le radio-altimètre 22 délivre la hauteur au dessus du sol, notée HRS.

Un bloc 3 contient un fichier terrain, établi d'une façon que l'on décrira ci-après. En fonction des grandeurs L et G, on accède à une partie de ce fichier, dite carte locale, et stockée dans une mémoire locale 40 (Figure 4A).

A partir de cette carte locale, et des grandeurs L, G, Z ainsi que HRS, le bloc 4 effectue des calculs d'anti-collision, de préférence accompagnés de calculs d'évitement de terrain.

En présence d'un risque de collision, une alarme (51) est émise. Un directeur d'ordres 53 peut suggérer

une manoeuvre d'évitement. Ceci est à destination du poste de commande.

La carte locale peut être également utilisée pour la génération d'une image synthétique (60), avec son dispositif de visualisation 55.

5 Elle va encore servir à des fonctions (7) de validation de la navigation et de mémorisation d'informations d'écart (ou de différences), notées MDF.

Ces écarts sont transférés au sol du bloc 79 au bloc 10, puis triés et servent à la mise à jour totale ou partielle de la base de données 30.

10 La mémoire 70 retient le profil survolé cartographié, selon la séquence des données L, G, Z. La mémoire 71 retient le profil réel survolé, tiré de la hauteur HRS. L'écart entre ces deux profils est calculé en 72.

Plus précisément (figure 4B), l'écart est comparé à deux seuils en 74 et 75, respectivement. Il est ensuite analysé (77), d'où:

- l'actionnement d'un indicateur de conformité 57 confirmant le bon fonctionnement du dispositif;
- la production d'un signal VAL.NAV., pour valider les calculs du bloc 4; et
- 15 - selon d'autres critères, la mémorisation d'informations MDF dans une mémoire 79, en correspondance des valeurs L et G pour lesquelles ils se sont manifestés. Ces informations MDF peuvent alors servir de base, après le vol, pour la mise à jour effectuée dans le système 10 de la figure 4A.

En pratique, le bloc d'analyse 77 va faire une corrélation des deux entrées, mais en tenant compte :

- de l'historique (passé récent) du vol,
- 20 - de la confiance estimée en les données du radio-altimètre (limites de fonctionnement compte-tenu de l'assiette de l'avion, auto-contrôle),
- du caractère fugace du franchissement du seuil,
- de l'analyse du résultat (biais ou bruit ou autre),
- éventuellement d'informations mémorisées adéquates.

25 La présente invention nécessite une préparation au sol, effectuée à intervalles réguliers.

Les fonctions de traitement (3) du fichier terrain sont implantées à bord de l'aéronef. Elles utilisent une mémoire de masse 30 propre à loger une base de données terrain BDT. A cette mémoire de masse 30 sont associés une interface de mise à jour 32, un dispositif de gestion de la base de données 35, ainsi qu'un dispositif 37 pour la décompression des données de la base.

30 Au sol, extérieurement à l'aéronef, un dispositif informatique 10 assure le remplissage et la mise à jour de la base de données 30 à travers l'interface 32, à partir d'informations issues d'un fichier électronique de terrain très détaillé. De préférence, on prévoit également au sol un bloc 12 qui définit un paramétrage pour adapter l'exploitation du fichier de terrain à un avion donné, et transmet ensuite ces informations :

- au calculateur anti-collision 43, pour fixer les paramètres des lois d'anti-collision, et le cas échéant d'évi-
- 35 - tement, et
- au dispositif de visualisation 60 pour adapter la visualisation aux caractéristiques dynamiques de l'aéronef.

Le fichier de terrain au sol peut être régulièrement mis à jour à l'aide des informations de retour MDF, convenablement contrôlées.

40 Les données de terrain incluses dans la base de données 30 étant comprimées, leur utilisation nécessite l'usage d'une fonction 37 de décompression que l'on décrira plus loin.

De son côté, le bloc 35 de gestion de la base de données fait usage d'au moins un index qui peut être stocké dans la mémoire de masse 30, de façon à permettre l'identification et l'accès rapide aux données contenues dans la base de données BDT.

45 Le poste de commande 90 fournit lui aussi des informations, qui comprennent au moins la définition d'une marge de sécurité d'altitude MCZ, transmise au bloc 43. On y ajoute de préférence un "mot d'état d'entrée" indiquant:

- si le pilotage est automatique ou manuel ;
- si l'avion est en virage ou en ligne droite ;
- 50 - les caractéristiques (notamment de vol) de l'aéronef.

En outre, le poste de commande 90 peut définir des réglages pour l'imagerie synthétique du bloc 60.

L'une des bases essentielles de la présente invention est le fait que la Demanderesse a perçu la possibilité de stocker à bord d'un aéronef un fichier de terrain susceptible de représenter la quasi-totalité du bloc terrestre, dans la limite de contour et de résolution qui convient pour les besoins d'un aéronef.

55 Tout d'abord (figure 5), les informations stockées sont définies dans des mailles élémentaires de basse résolution MBR, qui existent pour tout le domaine géographique couvert par la base de données.

Là où sont des aéroports, ou pour d'autres raisons, la maille MBR peut être décomposée en mailles de moyenne résolution MMR, décomposables à leur tour (par exemple au voisinage immédiat de l'aéroport) en mailles de haute résolution MHR.

La figure 6 montre qu'à chaque maille, quelle qu'en soit la résolution, on associe une valeur numérique, représentative de l'altitude du point le plus élevé situé à l'intérieur de la maille (il est rappelé que le fichier au sol est beaucoup plus détaillé).

Une autre caractéristique importante de l'invention réside dans le fait que ces valeurs d'altitude ne sont pas stockées sous forme absolue (compression).

Pour expliquer cela, il est fait référence aux figures 7 à 9 (Les mots "horizontal" et "vertical" se réfèrent ici au plan de la figure). L'élément essentiel pour la définition des grandeurs d'altitude est le "pavé" de la figure 7. Un pavé (identifié par les indices M et N) comprend un rectangle de ME x ME mailles élémentaires. ME est par exemple de l'ordre de 50. Le découpage en pavés est effectué de sorte que deux pavés consécutifs se recouvrent sur une colonne large d'une maille, verticalement (figure 8), et sur une ligne haute d'une maille, horizontalement (figure 9).

Selon l'invention (figure 7), seule l'altitude Z11 concernant la maille élémentaire située dans le coin inférieur gauche d'un pavé est stockée sous forme absolue, c'est-à-dire avec tous ses chiffres significatifs. Toutes les autres valeurs d'altitude à l'intérieur d'un pavé sont stockées de manière relative (DELTAij), c'est-à-dire:

- par rapport à la maille qui la précède directement sur la même ligne, si cette maille existe dans le pavé, ou
- par rapport à la maille immédiatement inférieure, si l'on se trouve sur la maille la plus à gauche d'une ligne.

On observera qu'il existe une redondance des informations, du fait du recouvrement des pavés.

Ainsi, la figure 10a montre comment l'on détermine l'altitude Z_A de la maille élémentaire i_A, j_A dans un pavé, à l'aide de la formule (I) (voir l'Annexe Formules en fin de description).

La figure 10b illustre comment on détermine l'altitude du même point à partir du pavé situé au-dessus, en liaison avec la formule (II).

La figure 10c et la formule (III) montrent comment on détermine encore l'altitude du même point à partir du pavé situé à droite.

En outre, ce mode particulièrement intéressant de représentation compacte des informations permet des vérifications complètes entre pavés consécutifs. La figure 11 et les formules (IV) illustrent la vérification entre deux pavés consécutifs verticalement (dans la ligne de recouvrement). La figure 12 et les formules (V) illustrent la même vérification, mais pour deux pavés consécutifs horizontalement, dans leur colonne de recouvrement.

En mémorisant de la sorte des informations d'altitude dans la mémoire 30, la Demanderesse a observé que, dans la grande majorité des cas, chaque donnée peut se coder sur quatre bits (au plus).

En outre, il est possible de limiter ces informations:

- des surfaces planes, en particulier les grandes étendues marines, ne nécessitent pratiquement aucun codage (à l'échelon de la maille);
- il est envisageable d'effectuer le codage relatif d'altitude avec une précision (poids du bit le moins significatif ou LSB) qui dépend de l'altitude, proportionnellement par exemple;
- éventuellement, on tiendra compte tenu du fait que certaines zones du globe terrestre ne sont jamais survolées.

Des travaux de la Demanderesse, il résulte qu'il est possible d'intégrer la surface du globe terrestre, c'est-à-dire une superficie d'environ 500 millions de kilomètres carrés, avec les mailles de définition supérieures prévues pour 1000 aéroports, sur une mémoire dont l'encombrement total serait de 200 Mégabits, ce qui est aisément réalisable avec les techniques actuelles.

Une fois ces données stockées, on les complète d'index permettant, à partir de données exprimées en coordonnées géographiques, de repérer rapidement le ou les pavés relatifs à la zone dans laquelle se trouve l'avion, puis chacune des mailles élémentaires pertinentes, et le cas échéant les mailles de résolution supérieure, si elles existent.

Les fonctions de décompression du bloc 37 consistent alors à restaurer dans la mémoire 40 les altitudes absolues, à l'aide des formules décrites ci-dessus (en tout ou en partie, selon le degré de vérification désiré), compte tenu des raffinements de codage éventuels.

Le fichier terrain contient donc des altitudes de points du terrain aux noeuds d'un quadrillage en pavés et mailles, avec un mode d'adressage ou d'accès aux données qui part de coordonnées géographiques, en latitude (L) et longitude (G).

Au niveau des pôles, il suffit d'effectuer un changement de repère pour se ramener à une situation classique, un tel changement de repère équivalant pratiquement à échanger les pôles avec deux points opposés de l'équateur, par exemple. Cette indication permettra à l'homme du métier de transposer ce qui suit pour l'appliquer au cas des pôles.

On examinera maintenant les incertitudes, d'une part au niveau des paramètres de vol, d'autre part à celui du fichier terrain.

Quant aux paramètres de vol, l'incertitude dépend des équipements disponibles à bord de l'aéronef.

Une centrale inertielle, même excellente, présenterait une dérive de 10 kilomètres au moins, au bout d'une dizaine d'heures de vol. La Demanderesse préconise d'utiliser une centrale inertielle de bonne qualité, convenablement recalée par rapport à des indications de position issues d'un dispositif tel que le GPS, comme décrit à propos de la figure 3. Dans ces conditions, les coordonnées longitude, latitude, G, L ainsi obtenues sont entachées d'une incertitude qui est celle du matériel GPS, c'est-à-dire d'environ 100 mètres, ou mieux.

Le fichier terrain est également sujet à des incertitudes.

Pour traiter l'ensemble des incertitudes, la Demanderesse propose de définir trois marges d'incertitude

(figure 13) :

- une marge d'incertitude en latitude ML,
- une marge d'incertitude en longitude MG, et
- une marge d'incertitude verticale MZ.

Le volume d'incertitude qui en résulte est un ellipsoïde de révolution, dont les demi-axes a, b et c ne sont pas nécessairement égaux (figure 13).

Ainsi, comme illustré sur la figure 14, on associe à chaque point de la trajectoire du vol de l'aéronef un domaine d'incertitude. Pour simplifier, on suppose que $ML = MG$. Dans la projection verticale dans le plan horizontal de la figure 14, on obtient alors un cercle d'incertitude de navigation CIN (une ellipse dans le cas général). L'enveloppe de ces cercles définit à son tour une zone de vol ZV, autour de la trajectoire de vol prédite TVS.

Il est important de noter que la marge verticale MZ est la somme :

- de la valeur réglable MZC issue du poste de pilotage ou bloc 4,
- d'une marge liée aux incertitudes des paramètres de vol, tels que définis ci-dessus, et
- d'une marge liée aux incertitudes intrinsèques des altitudes du fichier terrain.

En pratique, les incertitudes dans les deux dimensions horizontales (longitude et latitude) vont se traduire finalement en une incertitude sur la marge verticale: en effet, ces incertitudes horizontales induisent une incertitude sur l'"adressage" du fichier terrain, d'où une incertitude en altitude.

A partir de là, la Demanderesse a observé qu'il était possible de conduire des calculs à une cadence de renouvellement de l'ordre du hertz, qui peut être adaptée en fonction de la vitesse et de la fonction de transfert de pilotage de l'aéronef porteur. La cadence du Hertz convient pour des vitesses jusqu'à environ 275 mètres/seconde.

On suppose par exemple que la trajectoire future de l'aéronef est définie par un certain nombre de points A à F à partir de sa position actuelle, comme illustré sur la figure 15a. Cette trajectoire future est établie à partir de la position courante de l'avion (LGZ), et de ses vecteurs vitesse et accélération, associés aux angles respectifs définissant l'attitude de l'aéronef. Le vecteur d'état de l'aéronef (position et vitesse) est positionné dans le trièdre de coordonnées attaché au sol, dans lequel est défini le fichier BDT.

Compte tenu du domaine d'incertitude entourant la position prédite de l'aéronef (considéré pour simplifier comme un cercle de rayon R), et si c dénote le côté de la maille actuellement utilisée (suivant sa résolution), la quantité m de mailles dont l'altitude est à tester est :

$$m = \text{INT}\{ 2 * ([R * \text{SQRT}(2) / c] + 1) \}$$

où INT{} désigne la fonction partie entière, et SQRT() la fonction racine carrée. (Figures 17a et 17b)

En un point donné, la "surface carrée" d'incertitude (constituée des mailles enveloppant le domaine d'incertitude) a donc pour dimensions maximales m x m mailles.

Si la trajectoire prédite comporte p points, il convient alors de disposer dans la mémoire locale 40 de p fois cette surface, en altitudes absolues, au moins.

Ainsi, la figure 16 illustre d'une façon schématique l'évolution de la position de l'aéronef, par rapport aux mailles contenues dans la mémoire locale.

La mise à jour de la mémoire locale peut s'effectuer en conservant la région dans laquelle se trouve l'aéronef et en mettant à jour les trois régions voisines, comme illustré en tireté sur la figure 16.

En référence aux figures 17a et 17b, on considère la surface carrée d'incertitude de dimensions maximales m x m mailles. Toutes les altitudes sont lues et seule la valeur de la plus grande altitude Z_T sera conservée, et additionnée à la marge de sécurité d'altitude MZ définie plus haut. La somme, notée ZTM, est illustrée en tireté.

L'ensemble des valeurs ZTM sur la carte donnera le profil théorique sous l'aéronef, et la loi d'anti-collision a pour effet de comparer ce profil théorique sous l'aéronef à la trajectoire prédite de l'aéronef.

Ce mode de travail donne particulièrement satisfaction dans le cas d'un vol en pilotage automatique, car la trajectoire prédite est plus précisément connue.

En mode manuel, la trajectoire de l'aéronef est susceptible de variations plus importantes.

L'analyse de la situation instantanée et prédite de l'aéronef peut alors se résumer à un ensemble de tests

de courbes, propre à générer deux types d'alarmes :

- une pré-alarme indiquant une configuration dangereuse à moyen terme, et
- une alarme indiquant une configuration nécessitant une action immédiate du pilote, car la sécurité du vol est mise en cause.

Acet effet, on prévoit deux courbes de protection de l'aéronef vis-à-vis du terrain, définies suivant le même principe mais avec des paramètres différents, et comprenant (figure 18):

- une courbe à court terme CCT, principalement destinée à éviter un accident. Dès qu'un point du terrain entre dans la surface ou enveloppe supérieure de la courbe CCT, le pilote doit intervenir (alarme).
- une courbe à moyen terme CMT, principalement destinée à prévenir le pilote que la trajectoire de son aéronef va rencontrer un obstacle si elle se poursuit telle quelle, et qu'il doit envisager une manoeuvre d'évitement (préalarme).

Ces courbes, qui constituent un élément important du système de protection, peuvent être élaborées à partir de nombreux paramètres statiques et dynamiques de l'aéronef, en particulier :

- la fonction de transfert de pilotage de l'aéronef, c'est-à-dire sa capacité à manoeuvrer,
- les retards TR_0 dus au temps de réaction du pilote de l'aéronef,
- la vitesse horizontale V_h de l'aéronef,
- la vitesse ascensionnelle V_z de l'aéronef,
- le facteur de charge admissible $n.g$,
- la hauteur de sécurité prévue, et
- le roulis de l'avion.

La figure 19 montre un exemple d'absence de fausse alarme. Par contre, un cas d'alarme pertinente est illustré sur la figure 20. La faible différence entre les deux dessins montre la difficulté du problème résolu par l'invention.

En second lieu, lorsqu'une possible collision avec le sol a été détectée, le dispositif proposé peut être muni d'un dispositif de calcul d'une loi d'évitement, effectuée dans le bloc 48, à l'aide des différents paramètres issus des blocs 43, 46 et 40. Par exemple, en cas d'alarme, un ordre de dégagement vertical de l'aéronef est généré. De façon générale, l'ordre d'évitement tiendra compte, notamment:

- de la proximité du danger,
- de la vitesse de l'aéronef,
- de sa "manoeuvrabilité",
- du temps de réaction du pilote,
- des réserves de carburant.

Pour différentes raisons, la Demanderesse estime actuellement préférable d'effectuer une manoeuvre d'évitement simple, constituée par un ordre d'évitement en profondeur permettant d'assurer un survol du terrain (avec redressement de l'aéronef, si nécessaire).

Cet ordre d'évitement peut être affiché sur le directeur d'ordres (bloc 53), ou traité automatiquement.

Ainsi, si on prend pour simplifier le cas d'une trajectoire en ligne droite, la courbe limite d'évitement va être définie par trois tronçons (figure 21):

- de T_0 à T_1 , la poursuite de la trajectoire telle quelle pendant un temps égal au retard $RT_0 = T_1 - T_0$,
- de T_1 à T_2 , une période de transition due au changement du rayon de courbure de la trajectoire passant de l'infini au rayon RT ascensionnel,
- de T_2 à T_3 , la trajectoire d'évitement proprement dite, dont le rayon de courbure RT est directement fonction du carré de la vitesse linéaire de l'aéronef, divisé par le facteur de charge réellement appliqué, soit

$$R_T = (V_h)^2/n.g$$

L'homme du métier sait que des considérations semblables permettent d'établir une manoeuvre d'évitement en virage, mais d'une façon un peu plus compliquée dans le détail de laquelle il n'est pas utile d'entrer ici.

Des exemples de techniques d'évitement sont décrites dans la Demande de brevet français N° 8617235, au nom de la Demanderesse (FR-A-2607948).

Plus généralement, on connaît des procédés d'évitement de terrain faisant intervenir non seulement des manoeuvres dans le plan vertical mais aussi des manoeuvres dans le plan horizontal. De tels dispositifs sont utilisés actuellement pour certains types d'aéronefs rapides, et peuvent aisément être transposés à des aéronefs civils, sous réserve de disposer d'une puissance de calcul convenable, remarque étant faite que le problème des aéronefs civils est beaucoup moins délicat que celui déjà traité en évitement de terrain.

Il reste à considérer le bloc de génération d'une image synthétique (60, figure 2a). Celui-ci peut être réalisé de toute manière appropriée, en particulier de la manière décrite dans le Brevet français No 82 05121 (FR-A-2524117) ou son Certificat d'Addition No 83 16580 (FR-A-2553543), au nom de la Demanderesse.

Les fonctions des sous-ensembles du bloc 7 ont déjà été décrites en termes généraux. On observera tout

d'abord que cette fonction ne travaille que sur les données passées et présentes (L, G, Z, et HRS), à l'exclusion des valeurs prédites.

Un exemple de courbe de hauteur du terrain, telle que fournie par la mémoire 70, est illustré sur la figure 22A. De son côté, la figure 22B illustre le calcul de la hauteur du terrain $Z_t = Z_A - \text{HRS}$ dans la mémoire 71.

Le bloc 72 calcule deux écarts :

- $\Delta P_1 = Z_T - Z_A + \text{HRS}$, et
- ΔP_2 , qui est par exemple ΔP_1 redressé et filtré, ou tout autre traitement approprié de ΔP_1 .

On compare ces deux écarts à des seuils respectifs S1 et S2. Les figures 23A et 23B illustrent les deux écarts et leur seuils, pour montrer quatre situations ou cas différents A à D.

La figure 24 illustre un exemple simplifié de mécanisme d'analyse des anomalies. On suppose que la hauteur radio-sonde HRS est valide (compte-tenu des indications données plus haut).

Après l'étape de départ 7700, un test 7702 compare la valeur absolue de ΔP_1 à S1. Ensuite, un test compare la valeur absolue de ΔP_2 à S2 (test séparé en 7704 et 7706, suivant le résultat de 7702, pour la clarté du dessin). On a alors :

- le cas A (normal), si $\Delta P_1 \leq S_1$ et $\Delta P_2 \leq S_2$, auquel cas on passe directement en 7780 avec VAL.NAV. vrai.
- le cas B, si $\Delta P_1 \leq S_1$ et $\Delta P_2 > S_2$. L'altitude Z est décalée. L'étape 7712 recherche éventuellement si le décalage est imputable à Z_A (problème relevé sur les instruments de bord) ou à Z_T (biais systématique du fichier terrain BDT). De toute façon, l'étape 7740 enregistre en mémoire 79 les grandeurs L, G, et ΔP_1 , (éventuellement le résultat de l'étape 7712), et ce pendant toute la durée de l'anomalie. Néanmoins, on poursuit en 7780 avec VAL.NAV. vrai.
- le cas C, si $\Delta P_1 > S_1$ et $\Delta P_2 > S_2$. L'anomalie vient en principe de l'interrogation du fichier terrain BDT, soit à cause de son adressage (données L et/ou G entachées d'erreur) soit à cause de son contenu. Une analyse historique permettra normalement d'en décider (7714), suivant la répétitivité de l'anomalie. En ce cas, l'étape 7750 enregistre en mémoire 79 les grandeurs L et G (éventuellement le résultat de l'étape 7714), et ce au moins au début de l'anomalie. On poursuit par l'étape 7785, avec VAL.NAV. faux.
- le cas D, si $\Delta P_1 > S_1$ et $\Delta P_2 \leq S_2$. L'étape 7716 peut vérifier qu'il s'agit d'une anomalie ponctuelle, en examinant les hypothèses d'une erreur ponctuelle du fichier terrain BDT, d'un dysfonctionnement ponctuel de l'un des instruments de bord (radioaltimètre, GPS, centrale inertielle) ou du survol d'un obstacle ponctuel non encore répertorié. Là encore, l'étape 7740 enregistre en mémoire 79 les grandeurs L, G, et ΔP_1 , (éventuellement le résultat de l'étape 7716), et ce pendant toute la durée de l'anomalie. On peut poursuivre en 7780 avec VAL.NAV. vrai.

En ce qui concerne l'utilisation de l'historique des anomalies dans les étapes 7712 à 7716, on en décrira ci-après l'intérêt sur un exemple. Il apparaîtra aussi que les caractéristiques du terrain survolé et en particulier sa planéité (tirée de la mesure $Z_A - \text{HRS}$) permettent d'affiner la classification des anomalies. Dans l'exemple choisi, on passe du cas A avec ΔP_1 proche de 0 au cas C où ΔP_1 est très perturbé. Les causes probables de l'anomalie sont alors analysables comme suit :

- si la transition de A à C est accompagnée d'une transition d'un terrain plat à un terrain perturbé, il s'agit très vraisemblablement d'une erreur dans les paramètres de navigation.
- dans les autres cas, il s'agit très vraisemblablement d'une erreur du fichier terrain BDT, où l'on distinguera 3 cas de figure : le terrain reste plat ; on passe d'un terrain perturbé à un autre terrain perturbé, mais avec un décrochage d'altitude à la transition, on passe d'un terrain perturbé à un terrain plat.

Une analyse du même genre peut être conduite avec les autres transitions entre les cas A à D.

Bien entendu, l'invention est susceptible de nombreuses variantes et aménagements.

Par exemple, au voisinage immédiat du sol, le dispositif de l'invention peut devoir être inhibé, au moins quant à ses alarmes. C'est le cas :

- lorsque l'aéronef est en phase d'atterrissage aux instruments (ILS), ou
 - à la demande expresse du pilote.
- L'inhibition est avantageusement rendue dynamique (signal VAL.NAV. déjà cité).

Par ailleurs, il peut être intéressant d'utiliser deux fichiers terrain 30, l'un pour le relief fixe dans le temps (altimétrie naturelle), l'autre pour des obstacles construits et/ou évolutifs (altimétrie artificielle).

5

ANNEXE - FORMULES

10

$$(I) \quad Z_A = Z_{11} + \sum_{j=2}^{j_A} \Delta_{1j} + \sum_{i=2}^{i_A} \Delta_{ij_A}$$

15

$$(II) \quad Z_A = Z_{11}^{M,N+1} - \sum_{j=j_A+1}^J \Delta_{1j}^{MN} + \sum_{i=2}^{i_A} \Delta_{ij_A}^{MN}$$

20

$$(III) \quad Z_A = Z_{11}^{M,N+1} + \sum_{j=2}^{j_A} \Delta_{1j}^{M,N+1} - \sum_{i=i_A+1}^I \Delta_{ij_A}^{MN}$$

25

$$(IV) \quad Z_{11}^{M,N+1} = Z_{11}^{M,N} + \sum_{j=2}^J \Delta_{1j}^{M,N}$$

30

$$\forall i \in \{2, \dots, I\}$$

$$\Delta_{i1}^{M,N+1} = \Delta_{iJ}^{M,N}$$

35

$$(V) \quad Z_{11}^{M+1,N} = Z_{11}^{M,N} + \sum_{i=2}^I \Delta_{i1}^{M,N}$$

40

$$\forall j \in \{2, \dots, J\}$$

$$\Delta_{1j}^{M+1,N} = \Delta_{1j}^{M,N}$$

45

50

Revendications

55

1. Dispositif d'aide à la navigation aérienne, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une mémoire de masse (30) apte à stocker une base de données (BDT) représentant au moins une partie substantielle du globe terrestre, sous la forme d'un découpage comprenant un maillage sur au moins un niveau, chaque maille étant associée à au moins une donnée représentant l'altitude maximale à l'intérieur de la maille, et au moins un index permettant l'accès rapide à des jeux de mail-

les contiguës que contient ladite base de données, en fonction d'un adressage à deux coordonnées horizontales,

- une entrée pour recevoir des indications d'état, représentant la position de l'aéronef, avec deux composantes horizontales (L,G) et l'altitude (Z), et les vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef, ainsi que des indications de commande (MZC) provenant du poste de commande,
 - une mémoire rapide de travail (40),
 - des moyens de gestion de la base de données (35) propres, en fonction desdites composantes horizontales de la position de l'aéronef, à extraire et transférer en mémoire rapide une carte locale temporaire, à partir de laquelle est définie une enveloppe en altitude du terrain, dans la zone où évolue l'aéronef,
 - des moyens de traitement anti-collision (4; 43, 46) pour :
 - . traiter lesdites informations d'état afin d'établir une pluralité de points prédits de la trajectoire de l'aéronef,
 - . en chaque point prédit, comparer le contour d'un domaine de protection autour de l'aéronef, à l'enveloppe d'altitude dans la partie correspondante de ladite carte locale,
 - . établir une alarme (51) si la relation entre le domaine de protection et l'enveloppe en altitude satisfait une première condition qui est définie au moins en partie par lesdites indications de commande.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de validation (7) pour comparer, sur la trajectoire réelle de l'aéronef, le terrain défini par la mémoire rapide au terrain défini par les instruments de bord, des moyens (57) pour afficher une indication sur leur correspondance, et des moyens élaborant un signal (VAL.NAV.) de validation des moyens de traitement anti-collision (4).
 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens de validation (7) comprennent une mémoire (70) relative au terrain survolé d'après le fichier, une mémoire (71) relative au terrain survolé d'après les instruments de bord, des moyens (72) pour établir au moins une grandeur d'écart entre ces deux mémoires, et des moyens (74,75) pour comparer cette grandeur d'écart à un seuil.
 4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'analyse (77) pour commander ledit affichage (57).
 5. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que les moyens de validation (7) comportent des moyens (79) pour mémoriser certains au moins des écarts relevés.
 6. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que lesdites mémoires (70,71) travaillent sur la hauteur du sol, la seconde mémoire (71) recevant l'altitude (ZA) et une hauteur de l'aéronef au dessus du sol (HRS).
 7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le maillage comprend, outre les mailles de base, des mailles intermédiaires subdivisant certaines des mailles de base, et des mailles ultimes subdivisant à leur tour certaines des mailles intermédiaires, lesdites mailles intermédiaires et ultimes étant prévues au moins au voisinage de zones aéroportuaires.
 8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les mailles sont regroupées en blocs ou pavés, chaque bloc étant associé à une donnée d'altitude de référence exprimée en valeur absolue, tandis que l'altitude maximale dans chaque maille est exprimée en valeur relative, par rapport à une maille voisine, conformément à une loi prédéterminée de parcours des mailles à l'intérieur d'un bloc, tandis que, lors du chargement en mémoire rapide de travail, les altitudes relatives sont converties en altitudes absolues.
 9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que chaque bloc possède un recouvrement d'au moins une maille de base sur deux côtés adjacents avec ses voisins, les moyens de gestion étant capables de vérifier la cohérence des données d'altitude relatives entre différents blocs, du fait de leur recouvrement.
 10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (25) pour valider des données de position d'un instrument de radionavigation (21) par rapport à celles d'un instrument de bord inertiel (20), les données (L,G) ainsi validées servant à la prédiction (28) de la trajectoire

de l'aéronef et à l'adressage de la mémoire rapide (40).

- 5 11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lesdites indications de commande comportent la définition d'une marge de sécurité d'altitude (MZO), et en ce que ladite première condition porte sur le fait que la distance verticale entre le domaine de protection et ladite enveloppe en altitude est inférieure à cette marge de sécurité d'altitude.
- 10 12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que les moyens de traitement anti-collision sont également agencés pour émettre une préalarme indiquant un danger de collision avec le sol à moyen terme, en fonction d'une seconde condition.
- 15 13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens capables, en cas d'alarme, d'établir un ordre de pilotage souhaitable, en fonction d'une loi d'évitement de terrain, propre à l'aéronef.
- 20 14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que la loi d'évitement tient compte d'angles d'attitude de l'aéronef, en particulier du fait que l'aéronef vole en ligne droite ou est en virage.
- 25 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les angles d'attitude sont tirés de la centrale inertielle.
- 30 16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que la première condition comprend la considération d'une trajectoire de pilotage à cabrer d'amplitude quasi-maximale après un bref retard.
- 35 17. Dispositif selon la revendication 16, prise en combinaison avec la revendication 12, caractérisé en ce que la seconde condition comprend la considération d'une autre trajectoire, de pilotage à cabrer d'amplitude au plus aussi prononcée que celle de la première trajectoire, après un retard plus long.
- 40 18. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que les moyens de gestion de la base de données utilisent un changement de repère dans les zones entourant les pôles terrestres.
- 45 19. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour afficher une image synthétique du terrain, en fonction du contenu de la mémoire rapide.
- 50 20. Procédé d'aide à la navigation aérienne, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:
 - 55 A - au sol, entretenir une base de données de terrain représentant au moins une partie substantielle du globe terrestre,
 - B - à bord de l'aéronef,
 - B.1 - prévoir une mémoire de masse apte à stocker :
 - une base de données extraite du fichier au sol, et représentant au moins une partie substantielle du globe terrestre, sous la forme d'un découpage comprenant un maillage sur au moins un niveau, chaque maille étant associée à au moins une donnée représentant l'altitude maximale à l'intérieur de la maille, et
 - au moins un index permettant l'accès rapide à des jeux de mailles contiguës que contient ladite base de données, en fonction d'un adressage en coordonnées de position horizontale,
 - B.2 - recevoir des instruments de bord deux composantes horizontales de la position de l'aéronef, une information verticale, et les vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef,
 - B.3 - en fonction de deux composantes horizontales de la position de l'aéronef, charger dans une mémoire rapide de travail une carte locale temporaire, définissant une enveloppe en altitude absolue du terrain, dans la zone où évolue l'aéronef,
 - B.4 - en fonction de la position, et des vecteurs vitesse et accélération de l'aéronef, estimer une pluralité de points de la trajectoire prédite de l'aéronef,
 - B.5 - en chaque point prédit, comparer le contour d'un domaine de protection autour de l'aéronef, à l'enveloppe d'altitude dans la partie correspondante de ladite carte locale, et
 - B.6 - établir une alarme si la relation entre le domaine de protection et l'enveloppe en altitude satisfait une première condition.
21. Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de validation (7) pour comparer, sur la trajectoire réelle de l'aéronef, le terrain défini par la mémoire rapide au terrain défini

par les instruments de bord.

- 5 **22.** Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la validation comprend la mémorisation d'écarts, et en ce que l'étape A comprend la mise à jour du fichier au sol à partir de certains au moins des écarts mémorisés.
- 10 **23.** Procédé selon l'une des revendications 20 à 22, caractérisé en ce que le maillage de l'étape B1 comprend, outre les mailles de base, des mailles intermédiaires subdivisant certaines des mailles de base, et des mailles ultimes subdivisant à leur tour certaines des mailles intermédiaires, lesdites mailles intermédiaires et ultimes étant prévues au moins au voisinage de zones aéroportuaires.
- 15 **24.** Procédé selon l'une des revendications 20 à 23, caractérisé en ce qu'à l'étape B.1, les mailles sont regroupées en blocs ou pavés, chaque bloc étant associé à une donnée d'altitude de référence exprimée en valeur absolue, tandis que l'altitude maximale dans chaque maille est exprimée en valeur relative, par rapport à une maille voisine, conformément à une loi prédéterminée de parcours des mailles à l'intérieur d'un bloc, et en ce qu'il est prévu une mémoire rapide de travail, où les altitudes relatives sont converties en altitudes absolues.
- 20 **25.** Procédé selon l'une des revendications 20 à 24, caractérisé en ce que l'étape B.2 comporte la validation de données de position d'un instrument de radionavigation (21) par rapport à celles d'un instrument de bord inertiel (20), les données (L,G) ainsi validées servant aux étapes B.3 et B.4.
- 25 **26.** Procédé selon l'une des revendications 20 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, en cas d'alarme, l'établissement d'un ordre d'évitement, en fonction d'une loi d'évitement de terrain, propre à l'aéronef.

25

30

35

40

45

50

55

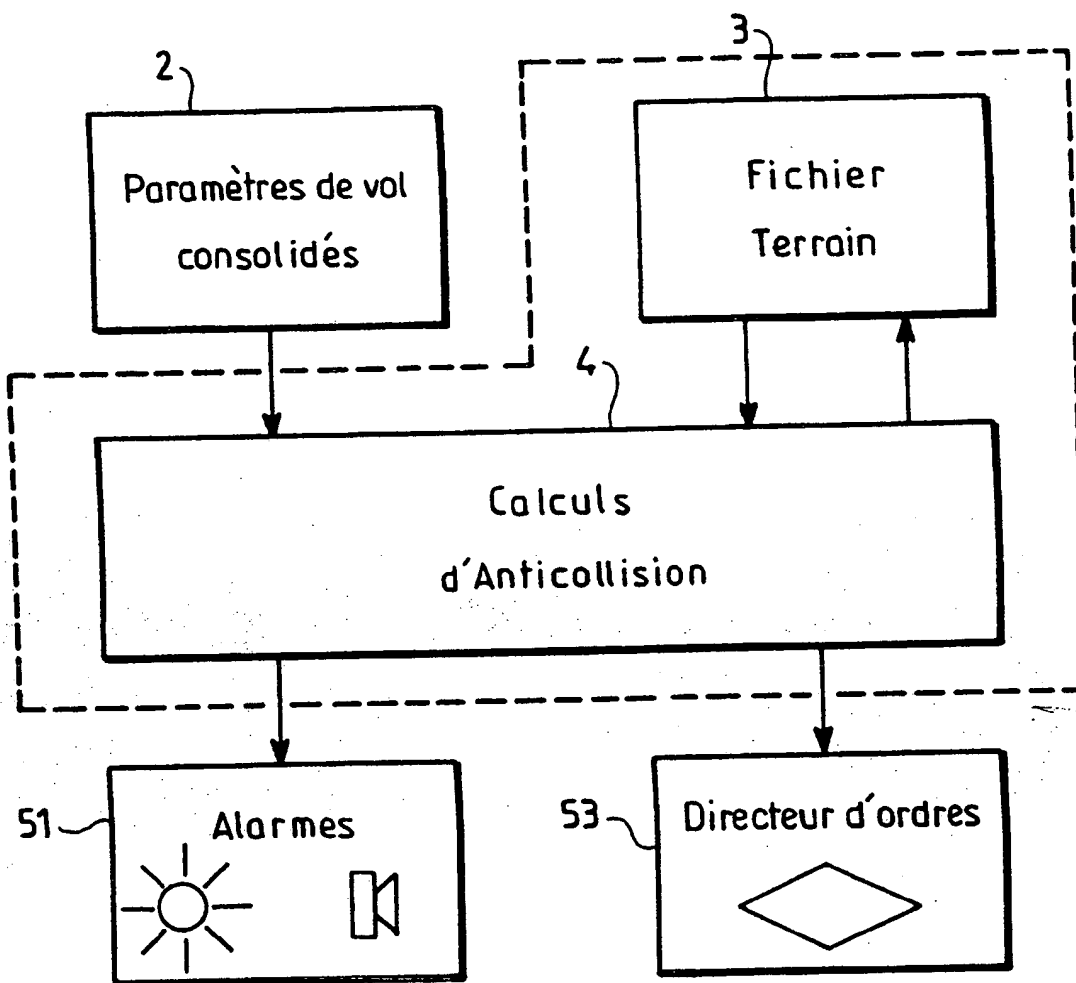


FIG.1

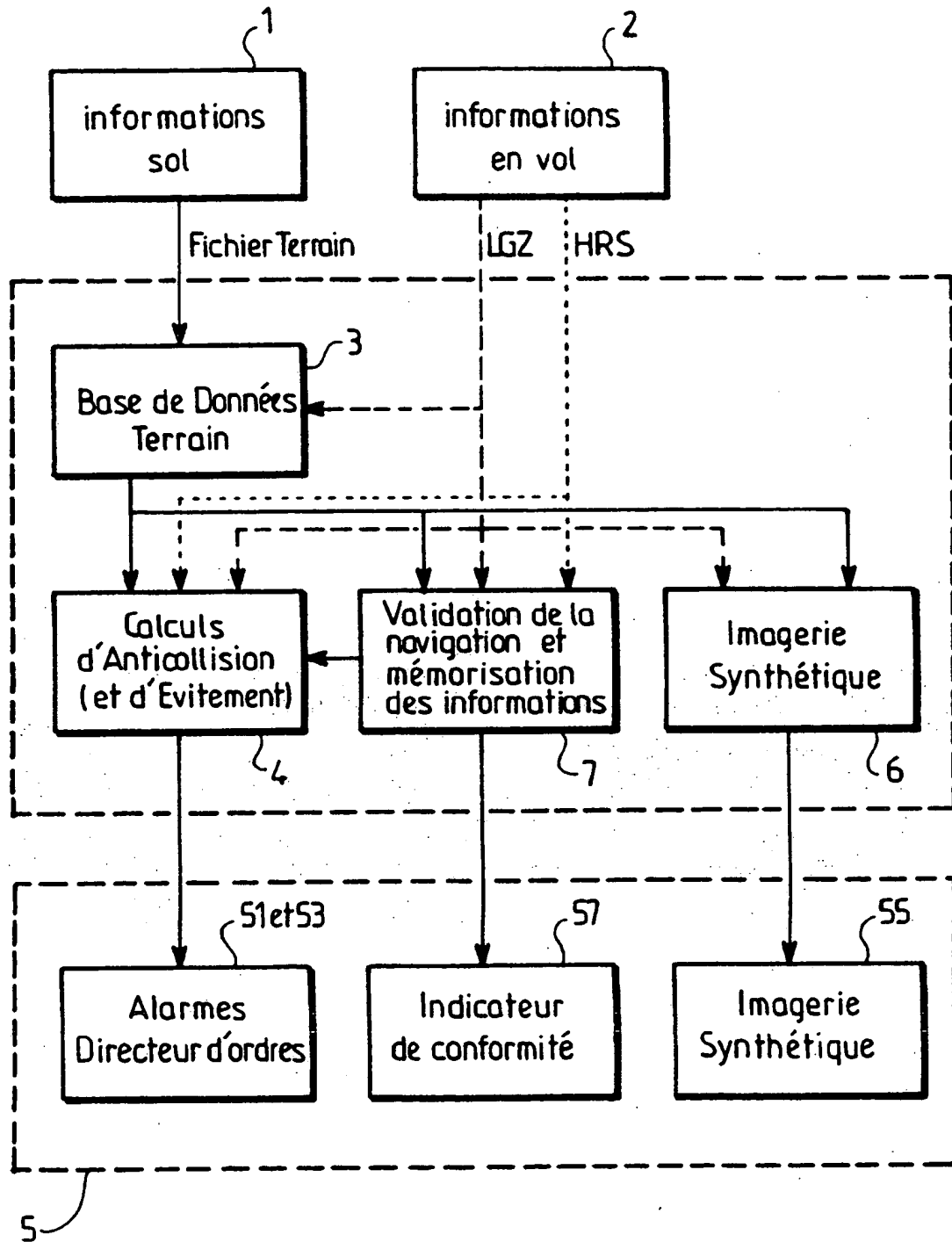
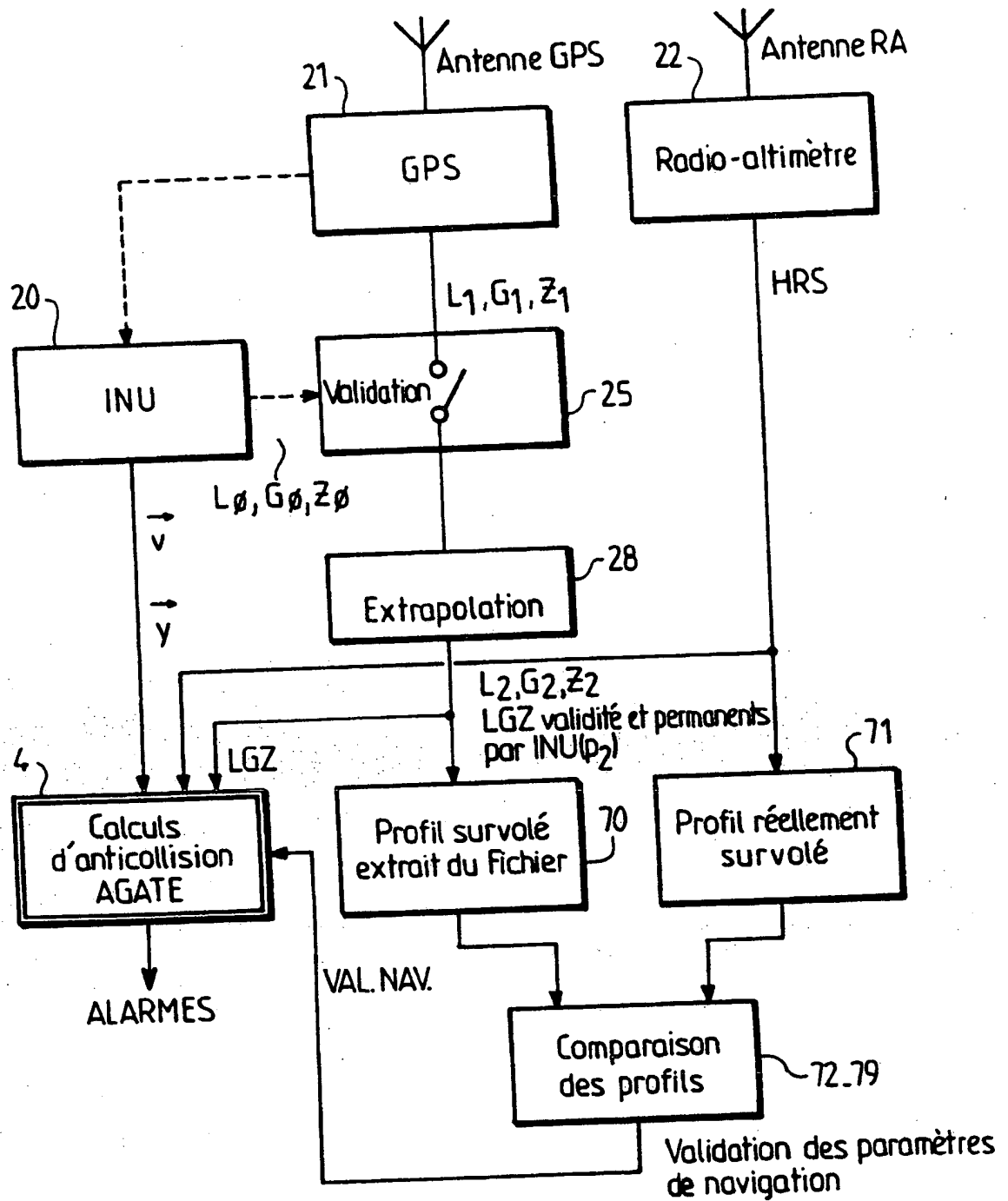


FIG. 2



p = périodicité de renouvellement de l'information
 p_1 = quelques secondes à quelques minutes
 p_2 = ordre de la seconde

FIG. 3

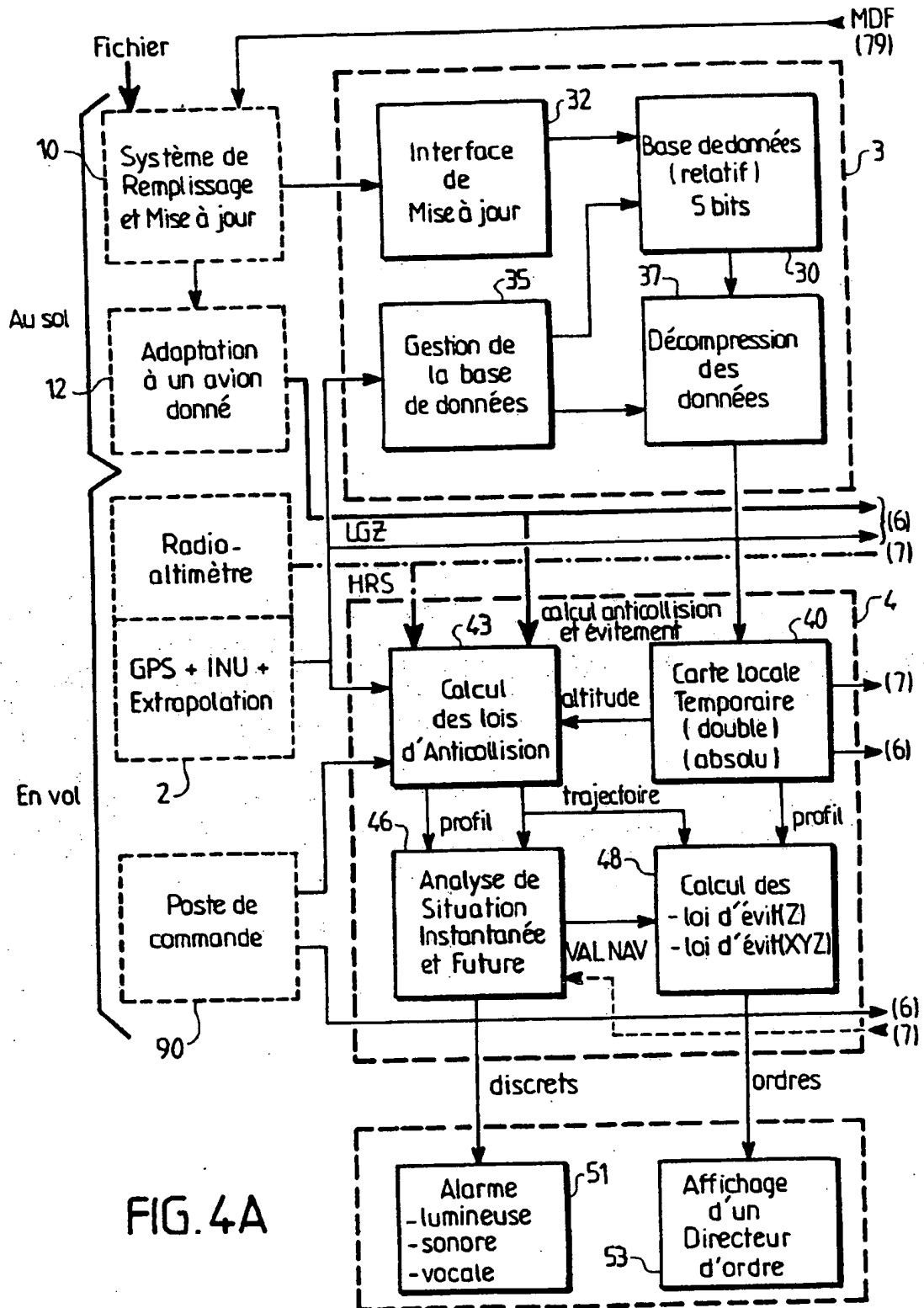
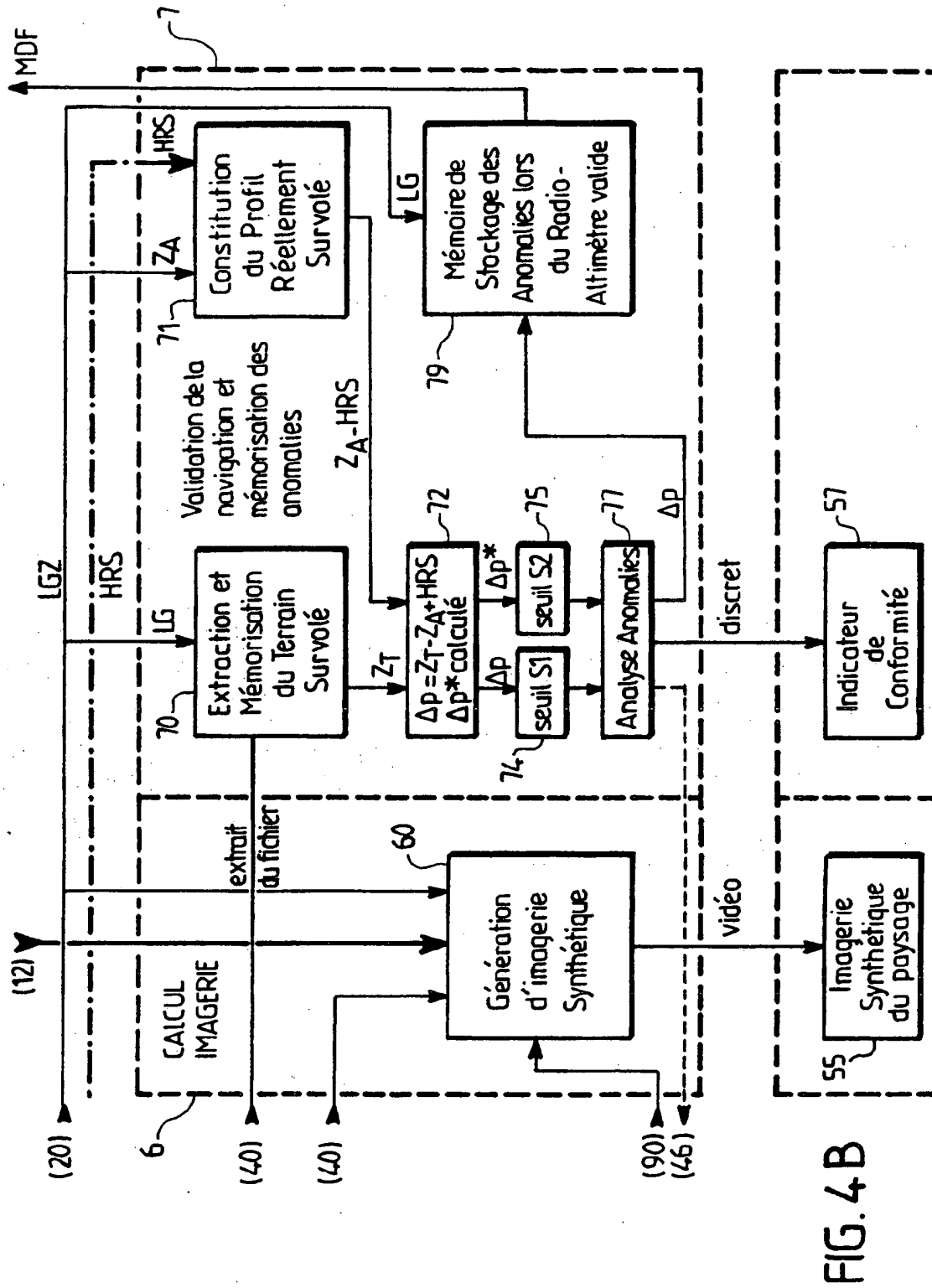


FIG. 4A



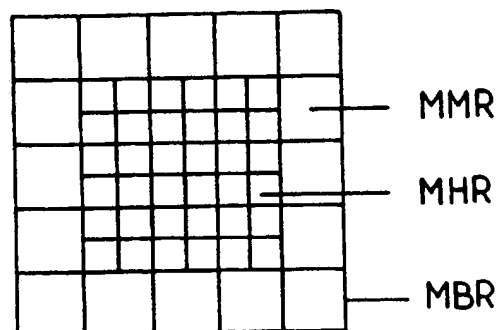
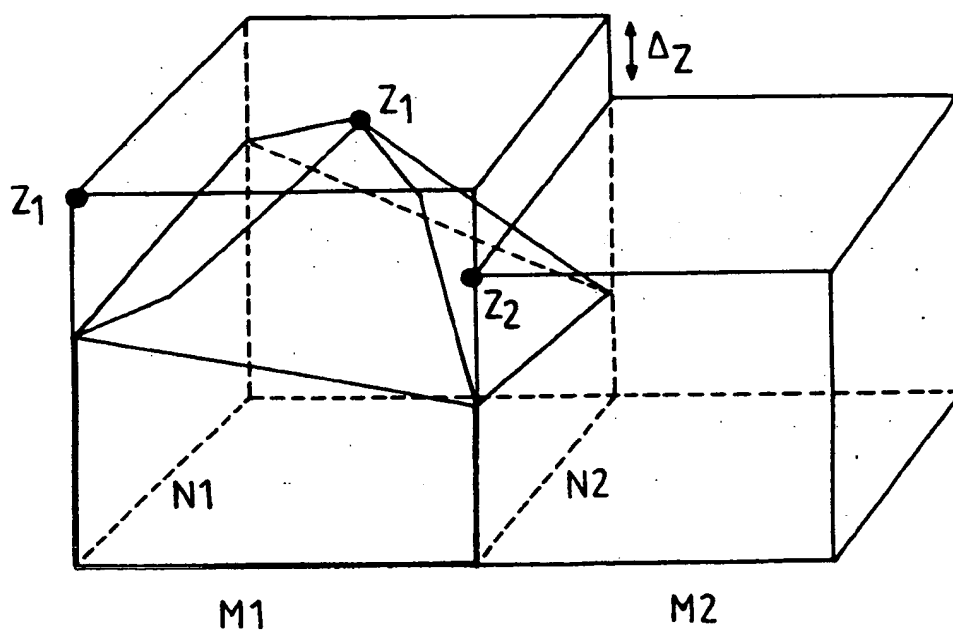


FIG. 5



(M1,N1) altitude = Z_1
 (M2,N2) altitude = Z_2

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

FIG. 6

FIG. 7 - PAVÉ MN

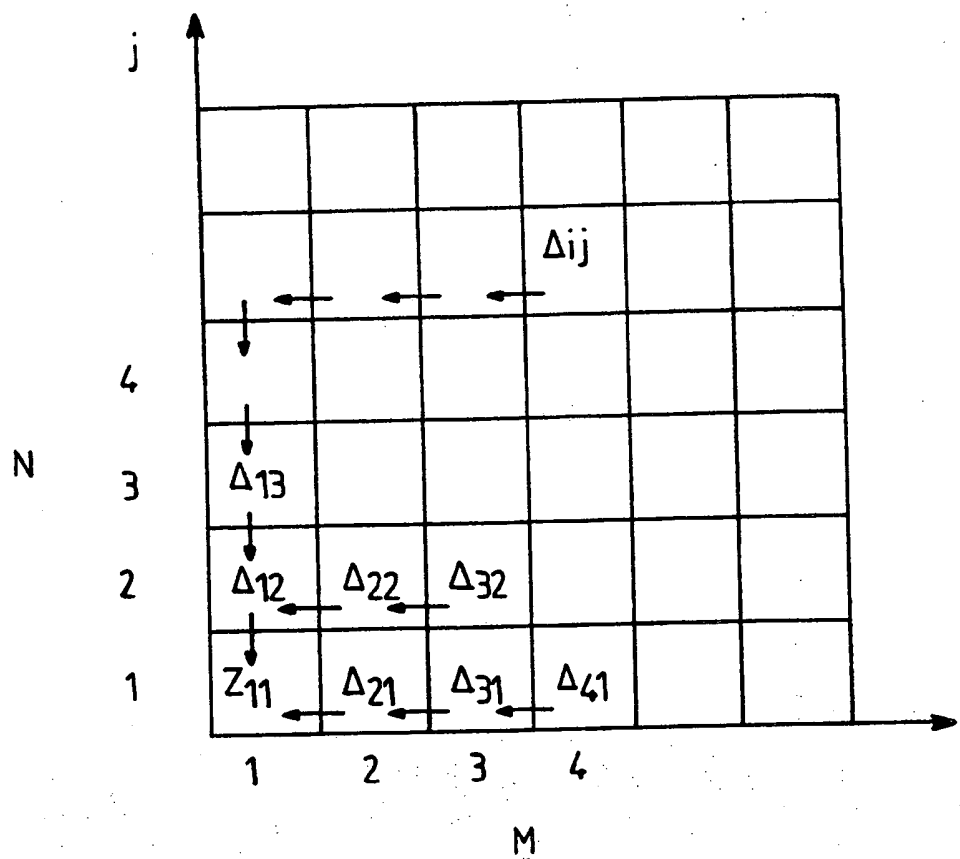


FIG. 8

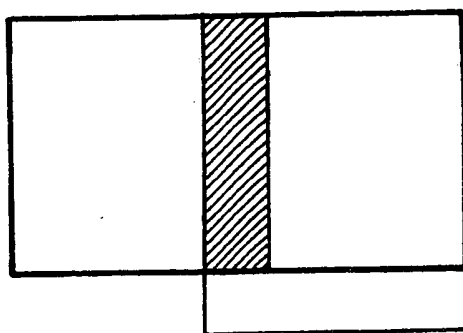


FIG. 9

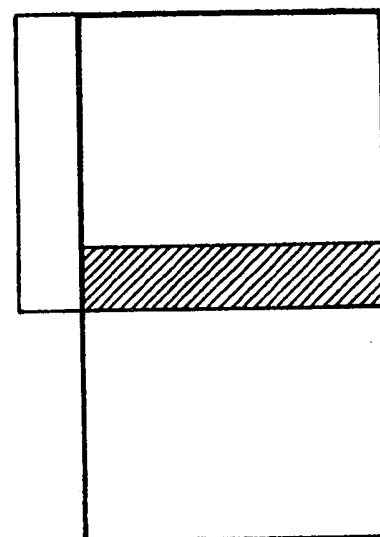
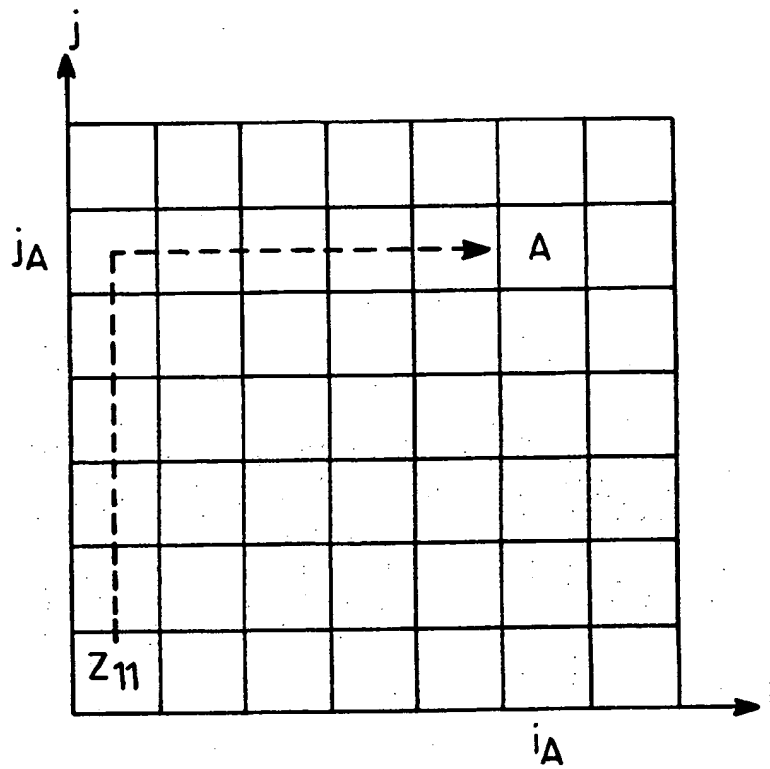
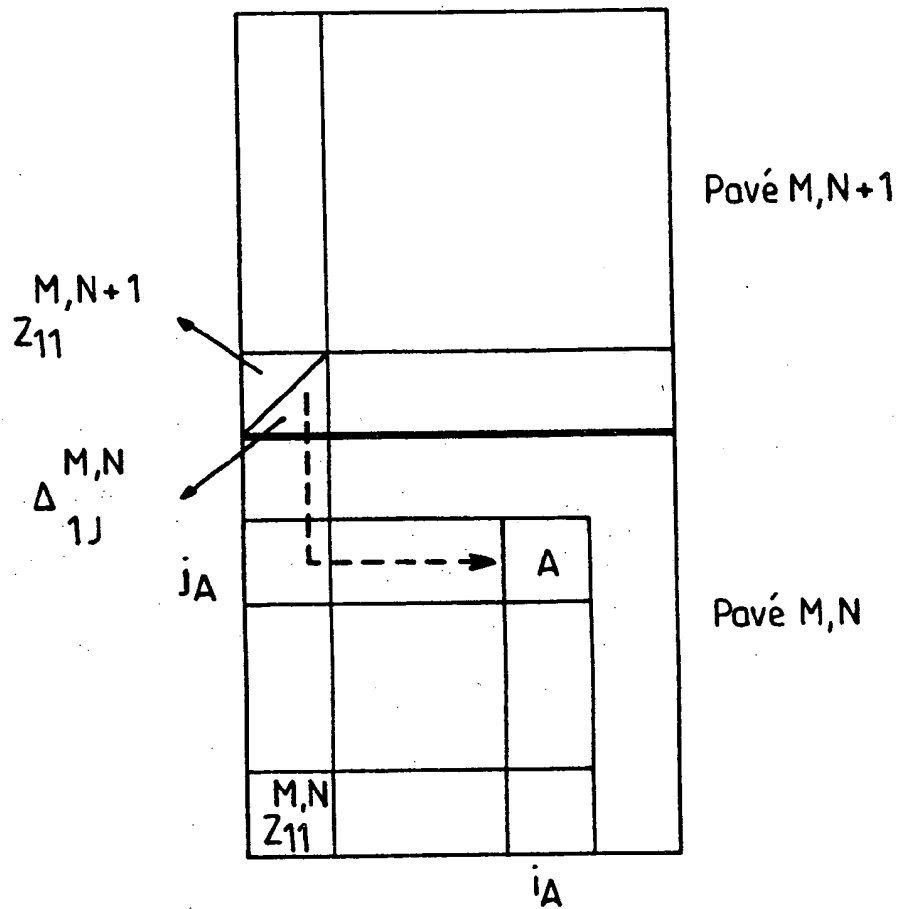


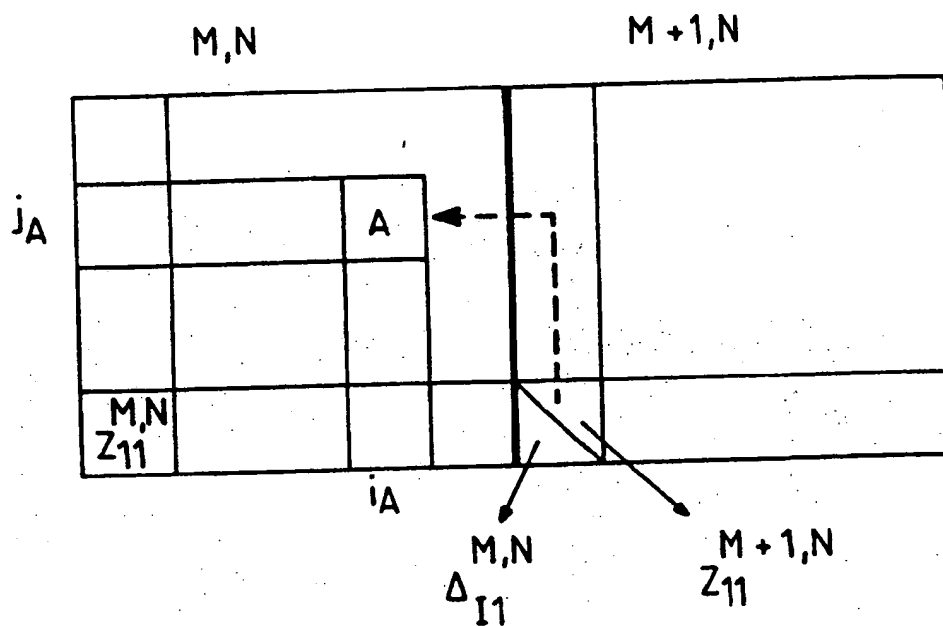
FIG.10a - z_A A PARTIR DE SON PAVE

$$\begin{matrix} i \in [I] \\ j \in [J] \end{matrix}$$

$$z_A = z_{11} + \sum_{j=2}^{j_A} \Delta_{1j} + \sum_{i=2}^{i_A} \Delta_{ij_A}$$

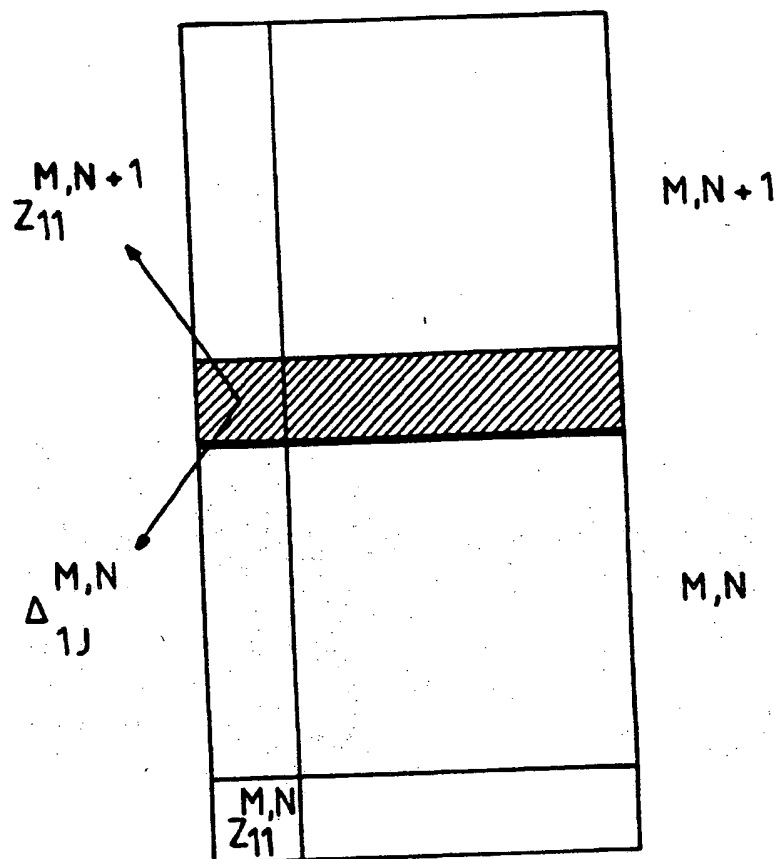
FIG. 10b - Z_A A PARTIR DE $M, N+1$ 

$$Z_A = Z_{11}^{M, N+1} - \sum_{j=j_A+1}^J \Delta_{ij}^{MN} + \sum_{i=2}^{i_A} \Delta_{ij_A}^{MN}$$

FIG. 10c - z_A A PARTIR DE $M+1, N$ 

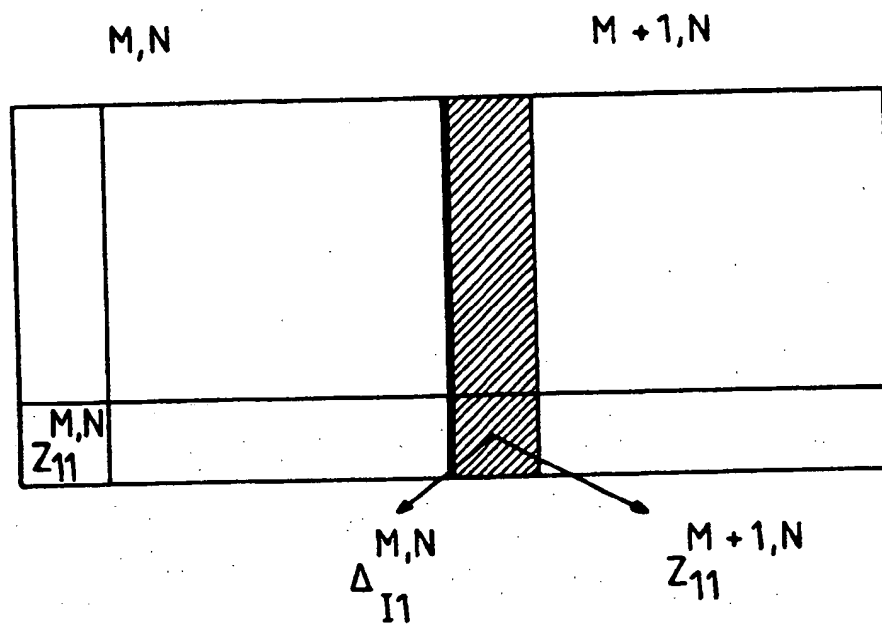
$$z_A = z_{11}^{M, N+1} + \sum_{j=2}^{j_A} \Delta_{1j}^{M, N+1} - \sum_{i=i_A+1}^I \Delta_{ij_A}^{MN}$$

FIG. 11



- $Z_{11}^{M,N+1} = Z_{11}^{M,N} + \sum_{j=2}^J \Delta_{1j}^{M,N}$
- $\forall i \in \{2 \dots I\}$
 $\Delta_{i1}^{M,N+1} = \Delta_{ij}^{M,N}$

FIG.12



- $Z_{11}^{M+1, N} = Z_{11}^{M, N} + \sum_{i=2}^I \Delta_{i1}^{M, N}$
- $\forall j \in \{2, \dots, J\}$
 $\Delta_{1j}^{M+1, N} = \Delta_{Ij}^{M, N}$

FIG.13 - MARGES D'INCERTITUDE

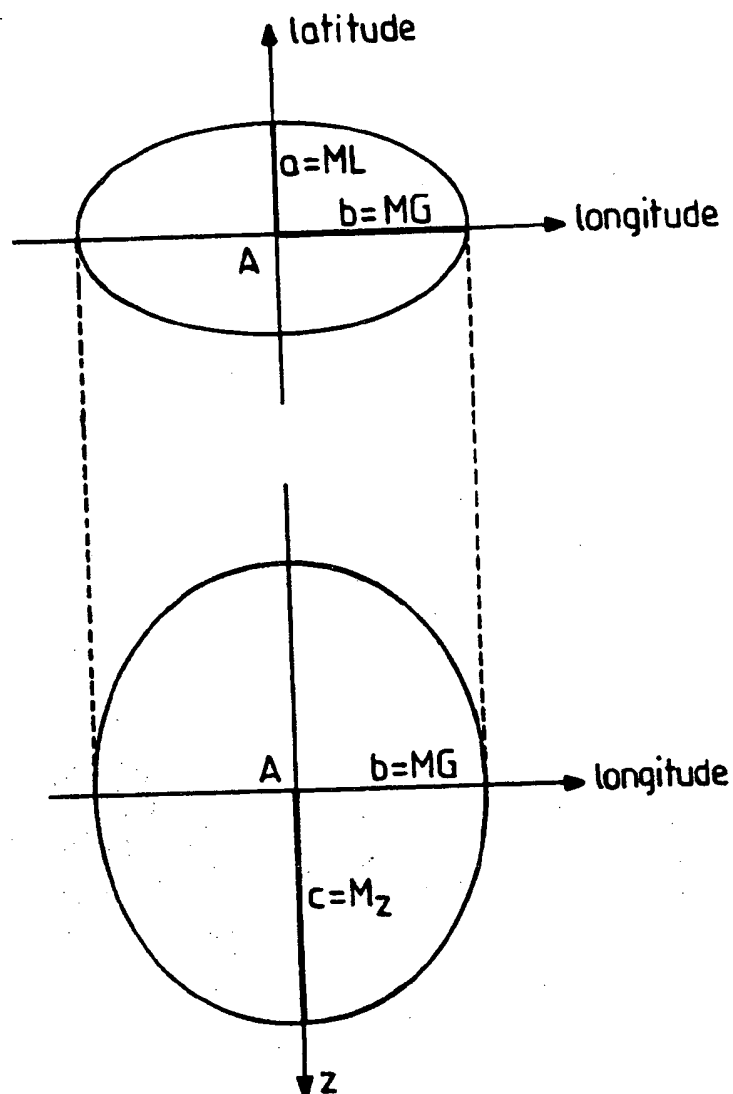
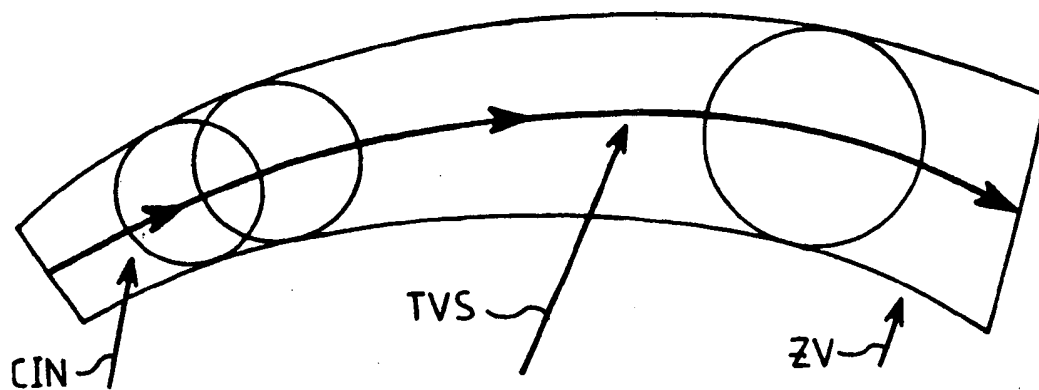
FIG.14 - INCERTITUDE LIEE A LA TRAJECTOIRE DE L'AERONEF
(Projection dans le plan horizontal)

FIG.15 - PRINCIPE GENERAL DE L'ECHANTILLONNAGE

FIG.15a - TRAJECTOIRE PREDITE (Plan horizontal)

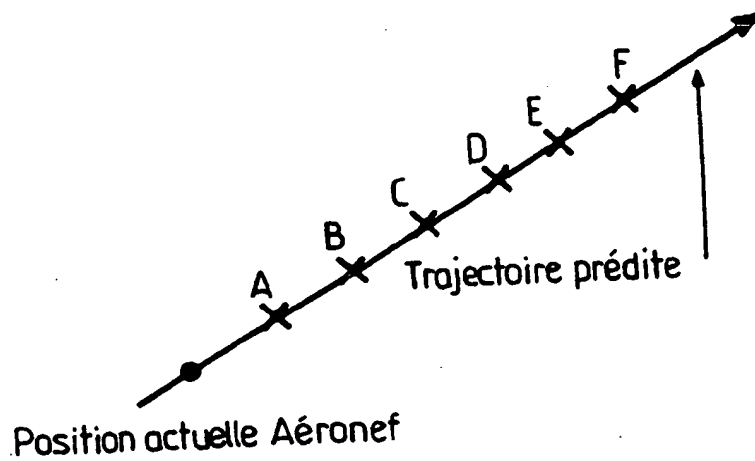


FIG.15b - GABARIT DE SECURITE ECHANTILLONNE SOUS LA TRAJECTOIRE PREDITE

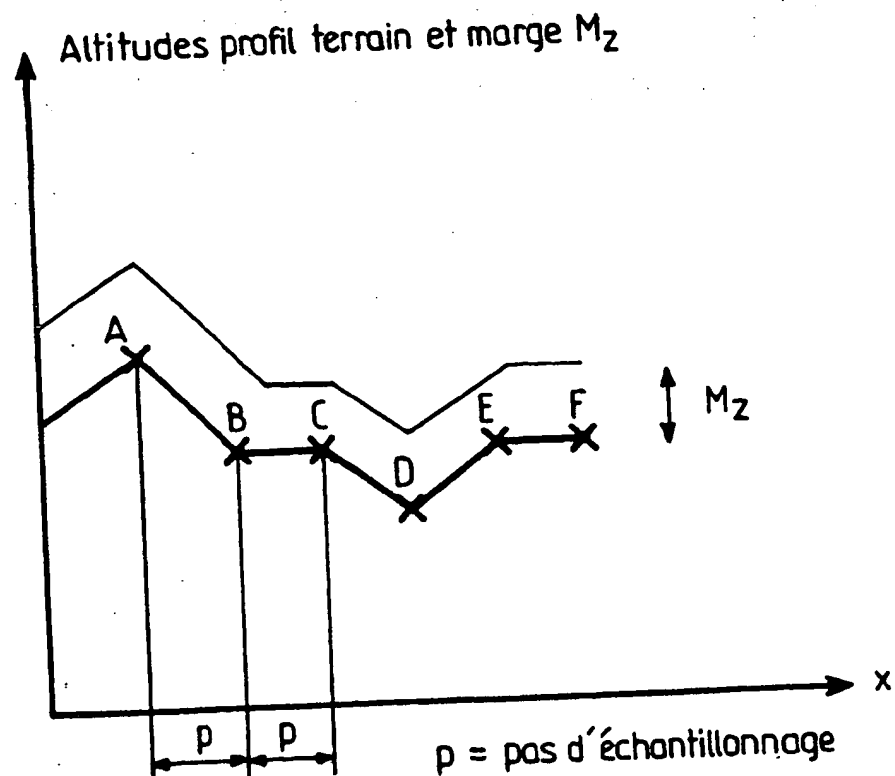


FIG.16 - EVOLUTION DE LA POSITION DE L'AERONEF DANS LA MEMOIRE LOCALE

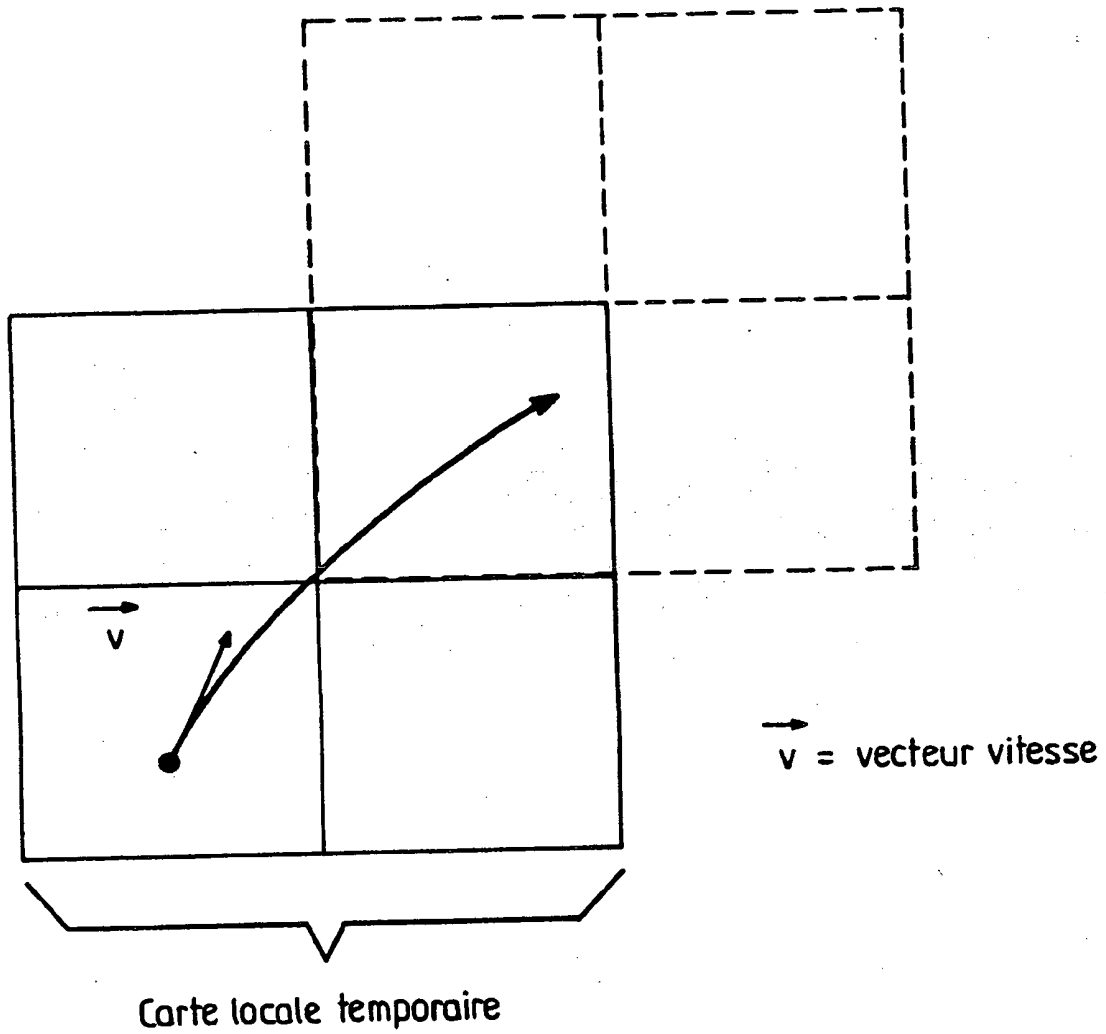


FIG. 17a - LOI D'ANTICOLLISION

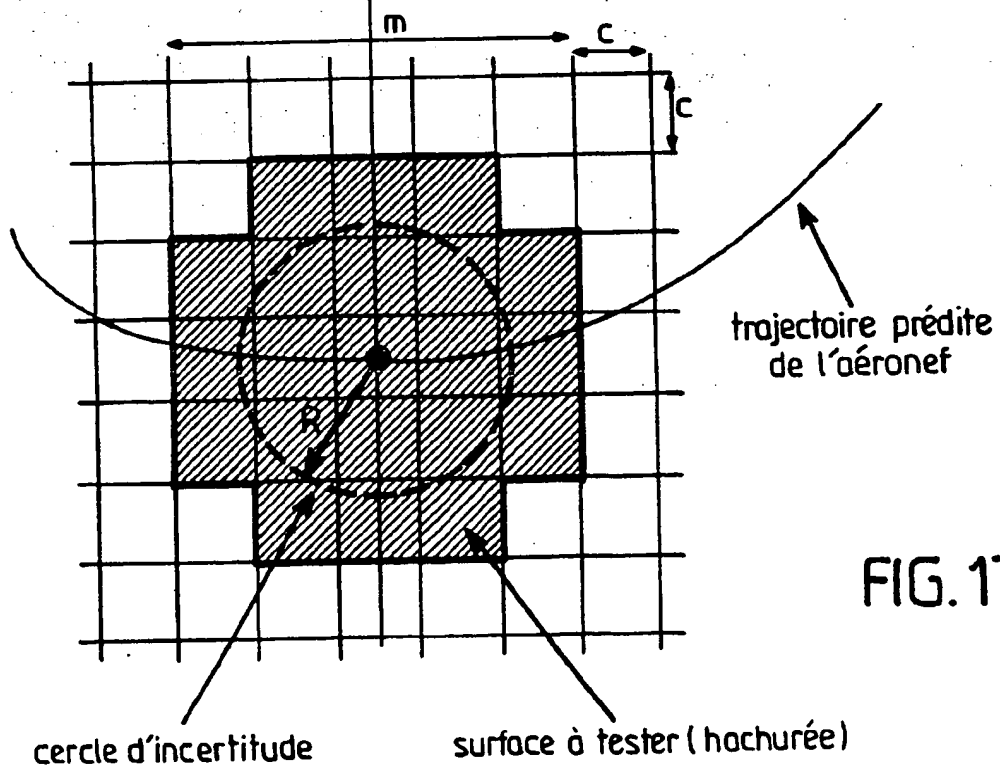
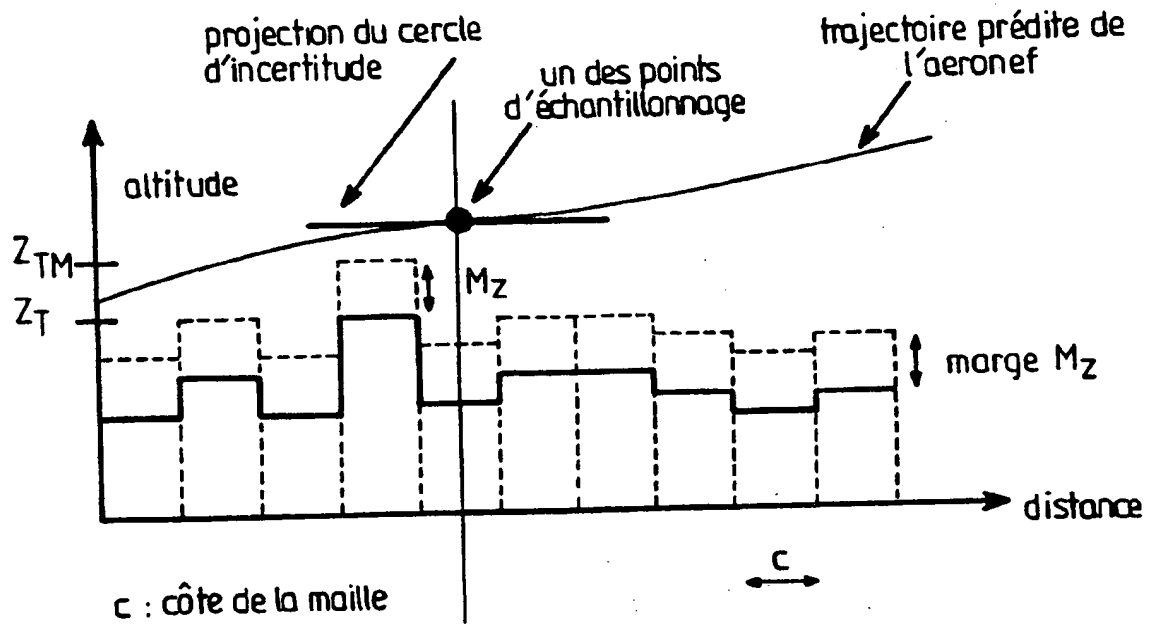
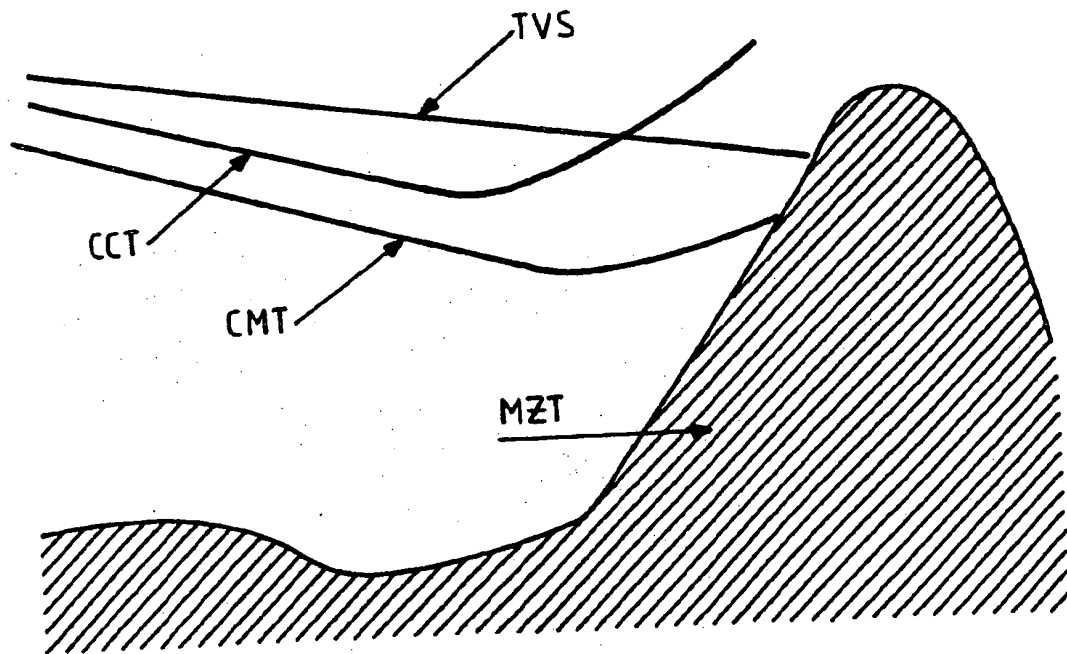


FIG. 17b

FIG.18 - COURBES DE PROTECTION



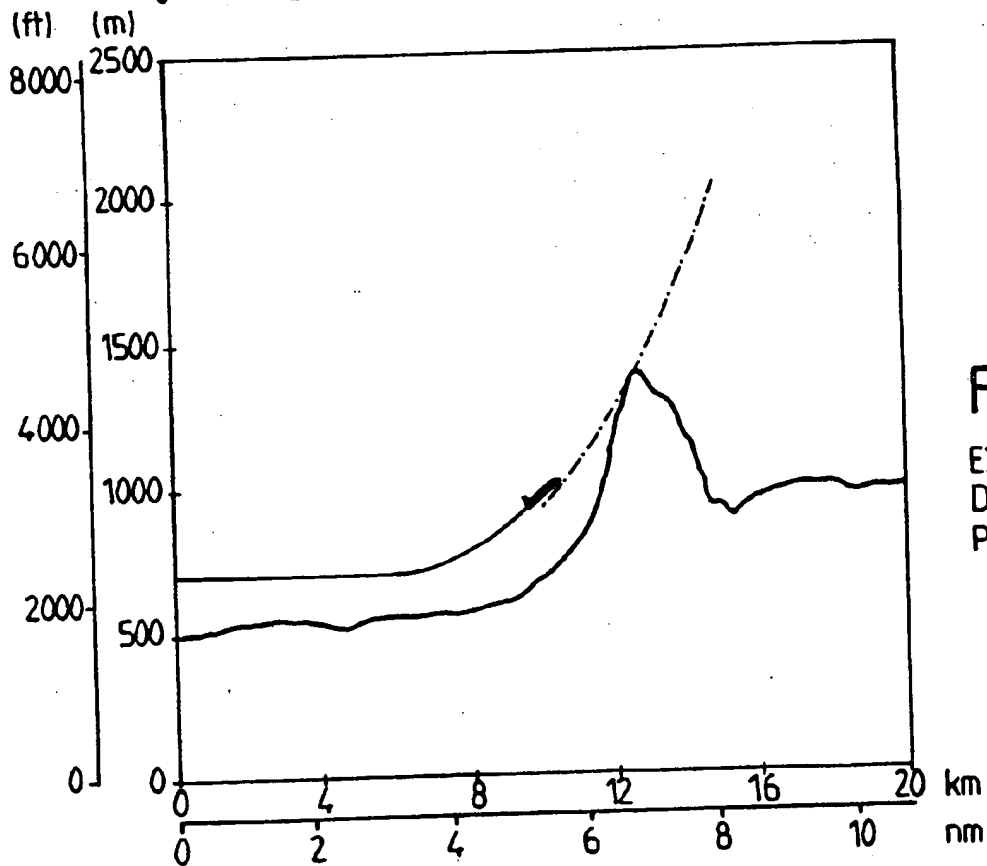
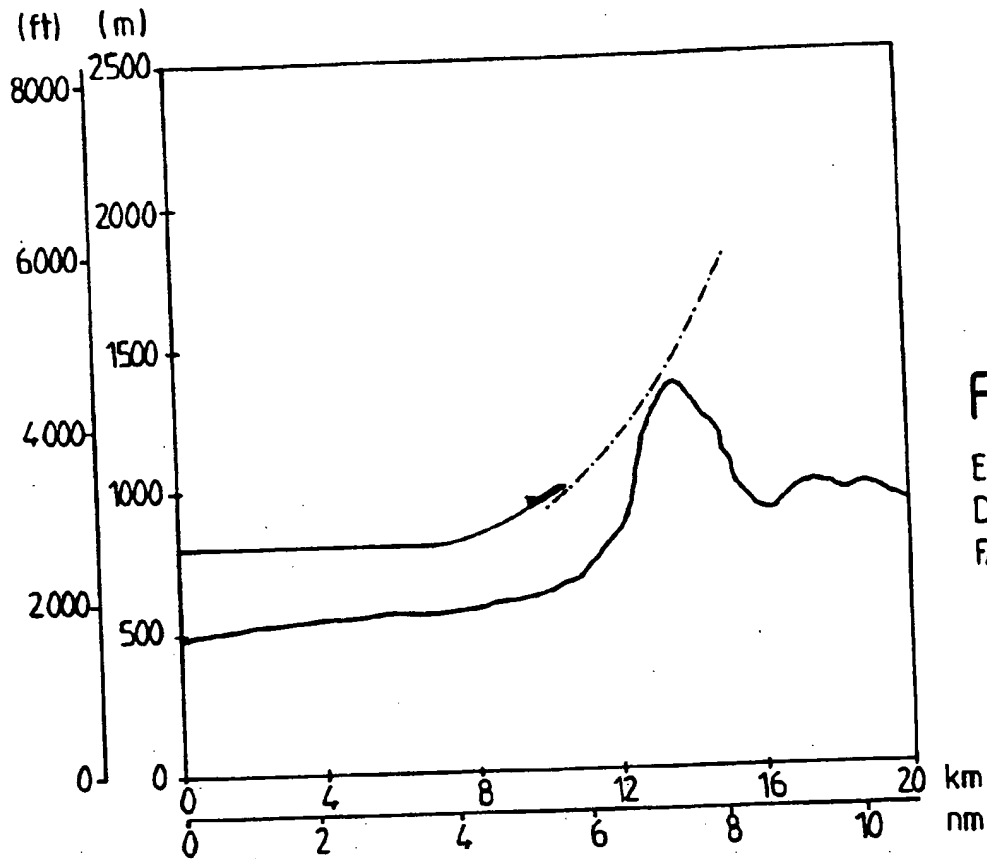


FIG. 21 - TRAJECTOIRE D'ÉVITEMENT (Plan vertical)

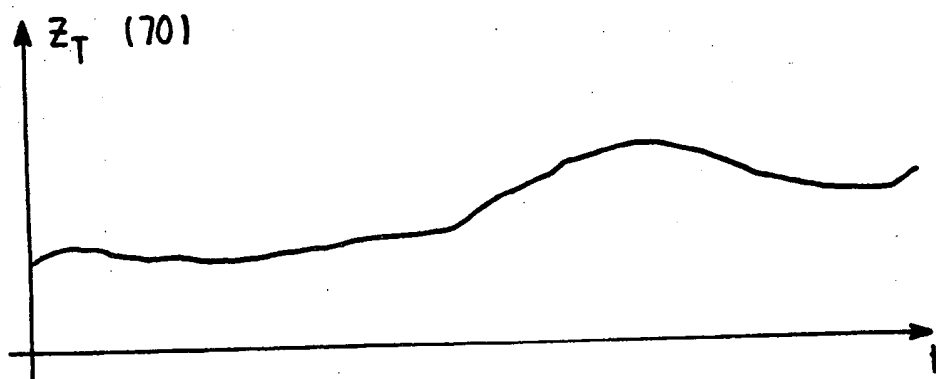
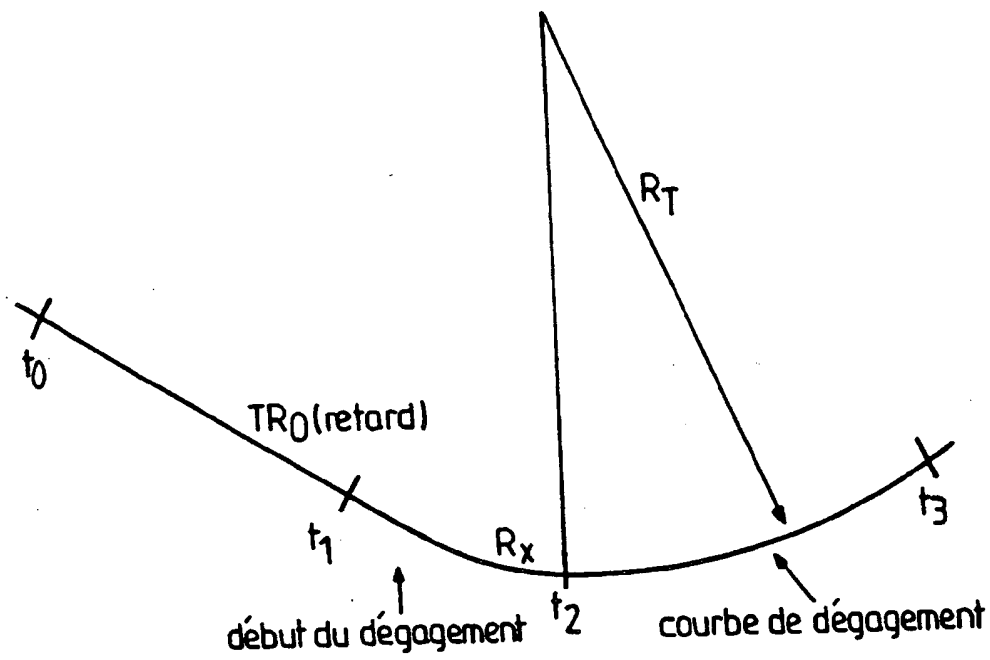


FIG. 22A

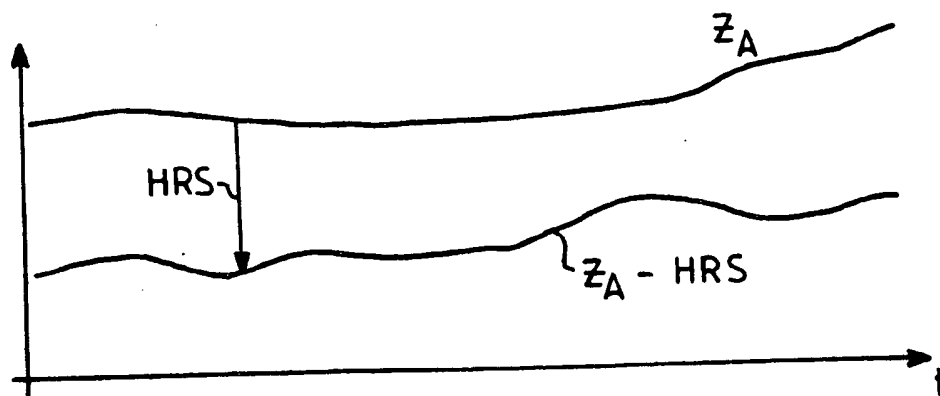


FIG. 22B

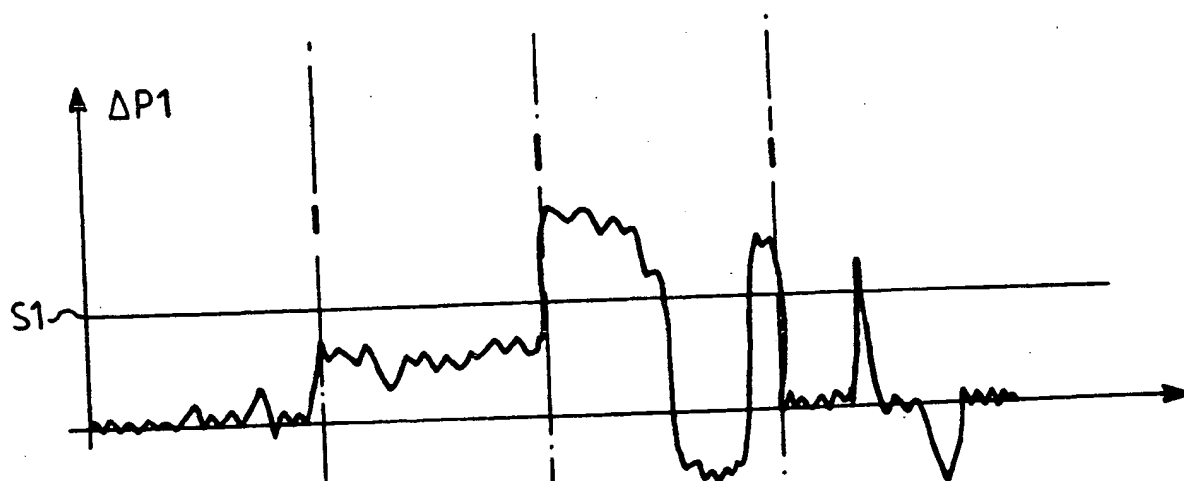


FIG. 23A

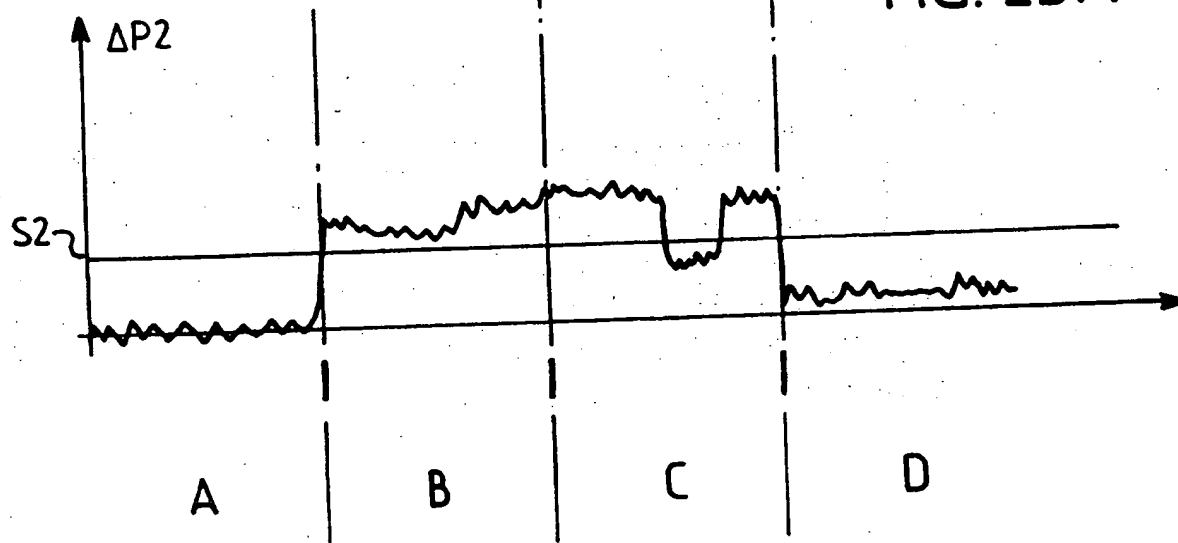


FIG. 23B

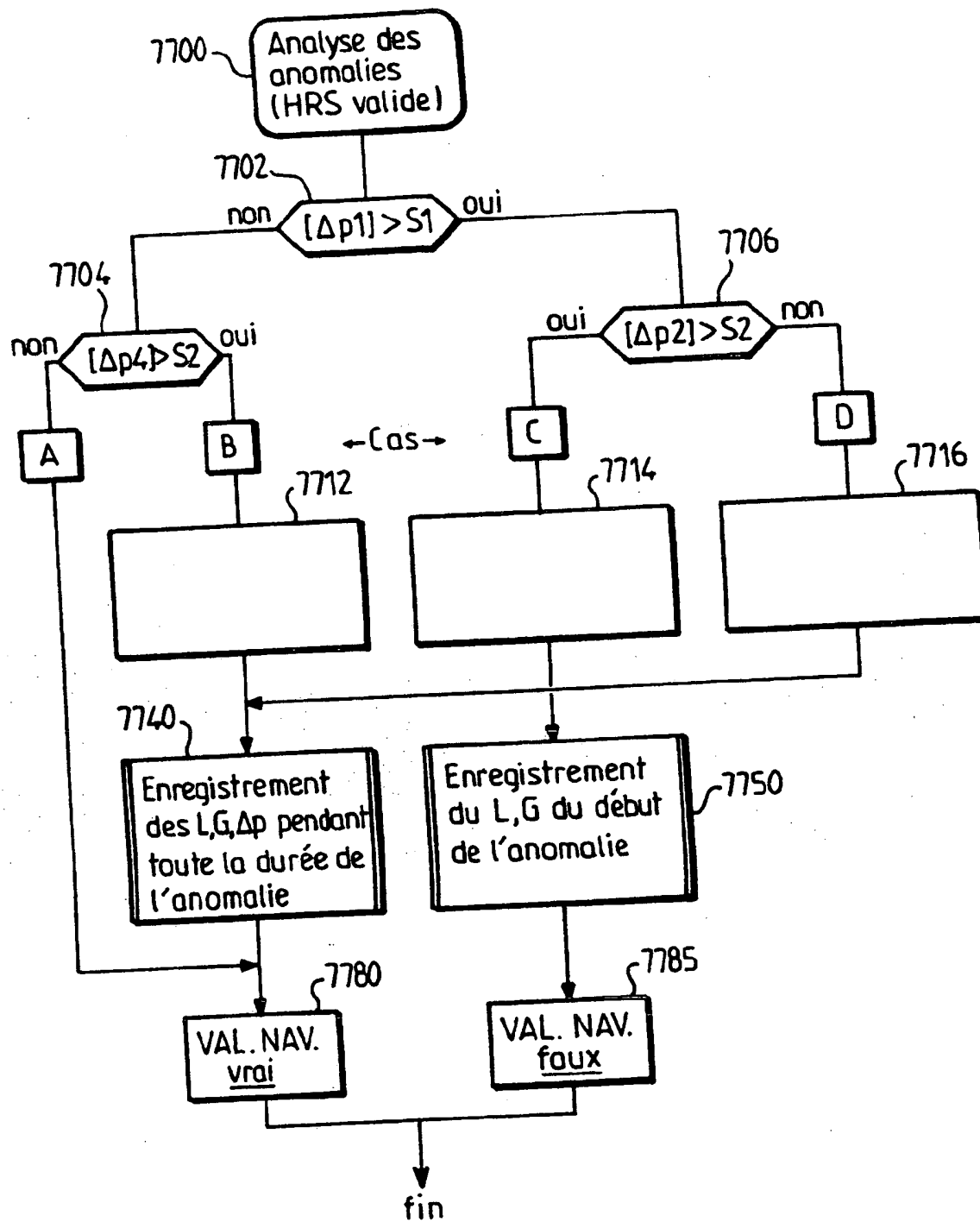


FIG. 24



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 93 40 0792

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
A	WO-A-8 800 734 (SUNDSTRAND DATA CONTROL) * page 5, ligne 15 - page 8, ligne 9 * * page 11, ligne 1 - ligne 24; figures 1-3 *	1,7,20, 23	G05D1/06 G01S13/94 G01C21/00
A	WO-A-8 503 566 (SUNDSTRAND DATA CONTROL) * page 8, ligne 13 - page 11, ligne 34 * * page 19, ligne 25 - page 23, ligne 5; figures 1-12 *	1,2,10, 11,20	
A	1989 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS 14 Novembre 1989, CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS pages 532 - 537, XP000129832 GORDER ET AL 'obstacle detection and avoidance maneuver selection for automatically guided rotorcraft nap-of-the-earth flight following planned flight profiles' * le document en entier *	1,20	
D,A	FR-A-2 607 948 (ELECTRONIQUE SERGE DASSAULT) * page 7, ligne 1 - page 11, ligne 7; figures 1-7 *	1,20	G05D G01C G01S
A	IEEE 1982 NATIONAL AEROSPACE AND ELECTRONICS CONFERENCE 18 Mai 1982, DAYTON CONVENTION CENTER pages 1366 - 1372 WENDL ET AL 'advanced automatic terrain following/terrain avoidance control concept study' * le document en entier *		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 19 JUILLET 1993	Examineur CALARASANU
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)